Die Oszillatorische Impedanz und die Ganzkörperplethysmographie bei experimentellem Bronchospasmus (Histamin-Belastung) im Kindesalter

Siegfried Völker

1983

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41523704_0040

Aus dem Zentrum der Kinderheilkunde der Johann Wolfgang Goethe - Universität Frankfurt am Main
- Abteilung für Allgemeine Pädiatrie II -
(Leiter : Prof. Dr. D. Hofmann)

Die Oszillatorische Impedanz und die Ganzkörperplethysmographie bei experimentellem Bronchospasmus (Histamin - Belastung) im Kindesalter

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
des Fachbereichs Humanmedizin der Johann Wolfgang Goethe - Universität Frankfurt am Main

vorgelegt von
Siegfried Völker
aus Frankfurt am Main

Frankfurt am Main 1983

Dekan : Professor Dr. med. H. J. Müller

Referent : Professor Dr. med. D. Hofmann

Koreferent : Professor Dr. med. W. Stille

Tag der mündlichen Prüfung : 11.8.1983

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Ich danke Herrn Professor Dr. Hofmann für die Überlassung des Themas und die fachliche Beratung sowie Herrn Dr. Wönne für dessen fachliche Beratung und den Schwestern des Lungenfunktionslabors für die freundliche Unterstützung

Inhaltsverzeichnis :

1	Einleitung	1 - 3
2	Untersuchungsmethodik	
2.1	Die ganzkörperplethysmographische Messung	4 - 11
2.1.1	Das Meßverfahren	4 - 5
2.1.2	Die Meßapparatur	6 - 7
2.1.3	Das thorakale Gasvolumen (TGV)	7 - 8
2.1.4	Der Atemwegswiderstand (R_{aw})	8 - 11
2.1.5	Der spezifische Atemwegswiderstand (SR_{aw})	11
2.2	Die oszillatorische Widerstandsmessung	12 - 23
2.2.1	Das Meßverfahren	12 - 18
2.2.2	Die Meßapparatur	18 - 22
2.2.3	Die Berechnung der Impedanz	22
2.2.4	Die Durchführung der Messung	23
2.3	Die Methodik der bronchialen Allertestung	24 - 25
2.4	Die Gruppe der untersuchten Kinder	26 - 28
2.5	Der Untersuchungsablauf	29
3	Ergebnisse und Diskussion	
3.1	Die Meßwertegruppen	30 - 50
3.1.1	Das thorakale Gasvolumen (TGV)	30 - 33
3.1.2	Der Atemwegswiderstand (R_{aw})	34 - 37
3.1.3	Der spezifische Atemwegswiderstand (SR_{aw})	38 - 39
3.1.4	Der Realteil der oszillatorischen Impedanz (R_{ez})	40 - 44
3.1.5	Der Phasenwinkel (φ)	45 - 47
3.1.6	Die Befundung der bronchialen Histaminbelastungstests im Gesamtkollektiv	48 - 50

3.2	Die Korrelationen	50 - 63
3.2.1	Die Beziehung von R_{ez} und R_{aw}	50 - 53
3.2.2	Die Beziehung von R_{ez} und TGV	54 - 55
3.2.3	Die Beziehung von R_{ez} und SR_{aw}	56 - 57
3.2.4	Die Beziehung von φ und R_{aw}	58 - 59
3.2.5	Die Beziehung von φ und TGV	60 - 61
3.2.6	Die Beziehung von φ und SR_{aw}	62 - 63
3.3	Die Untergruppen	64 - 85
3.3.1	Die Meßwerte der Gruppe 1	65 - 67
3.3.2	Die Meßwerte der Gruppe 2	68 - 70
3.3.3	Die Meßwerte der Gruppe 3	71 - 73
3.3.4	Die Korrelationen von R_{ez} zu den plethysmographischen in den Gruppen	74 - 79
3.3.5	Die Korrelationen von φ zu den plethysmographischen Werten in den Gruppen	80 - 85
4	Zusammenfassung	86 - 87
5	Literaturliste	

1 Einleitung

Die Einführung der Bestimmung der oszillatorischen Impedanz als Meßmethode in die Lungenfunktionsprüfung (1,2,3,4) hat zu ihrer schnellen Verbreitung geführt. Der geringe apparative Aufwand und die leichte Anwendbarkeit versprechen eine Bereicherung der Diagnostik außerhalb aufwendiger Lungenfunktionslabors.
Für die Kinderheilkunde ist besonders von Vorteil, daß keine angestrengte Mitarbeit des Probanden für die Untersuchung Voraussetzung ist. Damit können bereits Kleinkinder untersucht werden, denen bei den klassischen Lungenfunktionsprüfungen (Oesophagusdruckmessung, Ganzkörperplethysmographie, Tiffeneau-Test) oft ein zu großes Maß an Konzentration abverlangt wird. Verschiedene Arbeiten haben sich bereits mit der Anwendung der Oszillationsmethode in der Diagnostik der Kinderheilkunde befaßt. Es wird eine Abhängigkeit des Meßwertes der Impedanz von der Körpergröße gefunden und Normwerte bestimmt (5,6). Dabei zeigt sich eine gute Korrelation zwischen der Impedanz und dem Atemwegswiderstand bei lungengesunden Kindern (5). Des weiteren wurde die Grenze der Spontanvariation über eine Stunde bestimmt (6). Eine Veränderung der Meßwerte eines Probanden von über 25% während einer Stunde werden als signifikant für einen pathologischen Vorgang angesehen. Die Aussagekraft der Meßmethode bei einsetzender Bronchialobstruktion im Kindesalter ist aber weitgehend unklar geblieben. In dieser Arbeit soll der Frage nach der Übereinstimmung von Ganzkörperplethysmographie und Oszillationsmethode nachgegangen

werden. Es soll versucht werden herauszuarbeiten, bei welchen Veränderungen in den Atemtypen mit besserer oder weniger guter Übereinstimmung gerechnet werden kann.

In der Eigenart des oszillatorischen Meßverfahrens liegt eine Begrenzung auf einen Meßbereich von 10 bis höchstens 15 cm H_2O/ $l \cdot sec^{-1}$ (4). Auch jenseits dieser Marke sind Messungen möglich, werden aber ungenauer in ihrer Auswertung. Bei Kindern ist der Durchmesser der Bronchiallumina geringer als bei ausgewachsenen Personen. Dadurch muß bei ihnen von höheren Normalwerten für den Atemwegswiderstand ausgegangen werden. Als Folge davon wird der Grenzbereich der Messung im oszillatorischen Meßverfahren schnell erreicht und überschritten. Untersucht werden soll hier, inwieweit die gemessene oszillatorische Impedanz als diagnostischer Parameter der Bronchialobstruktion die Atemwegswiderstandsmessung im Ganzkörperplethysmographen ersetzen kann. Die Obstruktion der Atemwege ist kein einheitliches Geschehen. Nicht nur ihre Stärke, sondern auch ihre Lokalisation bestimmen die Funktionsstörung (7). Geubelle et al. unterscheiden zwischen einer zentralen und einer peripheren bronchialen Obstruktion (8). Danach muß die Messung des thorakalen Gasvolumens als wichtiger Hinweis auf ein obstruktives Geschehen in den Atemwegen neben der Bestimmung des Atemwegswiderstandes beachtet werden (9). Eine Erhöhung des thorakalen Gasvolumens soll als Meßwert zusätzliche Informationen liefern über obstruktive Vorgänge in verschiedenen Meßbereichen des Bronchialbaums, die mit der Messung des Atemwegswiderstands allein nicht erfaßt werden können. Der Vergleich

der beiden Untersuchungsmethoden soll Aufschluß darüber geben, inwieweit das oszillatorische Verfahren entsprechende Informationen liefern kann.

2 Untersuchungsmethodik

2.1 Die ganzkörperplethysmographische Messung

Der Ganzkörperplethysmograph ist heute das wichtigste Untersuchungsgerät in größeren klinischen Lungenfunktionslabors. Seine Methode ist ausreichend erforscht (11,12,13,14,15) und für die klinische Anwendung erprobt (16). Er liefert Meßergebnisse für das thorakale Gasvolumen (TGV) und für den Atemwegswiderstand (R_{aw}). Aus diesen Daten läßt sich dann der spezifische Atemwegswiderstand (SR_{aw}) errechnen.

2.1.1 Das Meßverfahren

Das Boyle - Mariotte'sche Gesetz bildet die physikalische Grundlage des Verfahrens. Es besagt, daß unter isothermen Bedingungen in einem geschlossenen System das Produkt aus Druck und Volumen konstant bleibt:

$$P \cdot V = \text{konstant} \qquad (\text{I})$$

Für die Atembewegung muß diese Gleichung umgeformt werden:

$$P_A \cdot V_L = (P_A \pm \Delta P_A) \cdot (V_L \pm \Delta V_L) \qquad (\text{II})$$

P_A: Alveolardruck V_L: Lungenvolumen

ΔP_A und ΔV_L geben die Änderung der beiden Größen während der Atembewegung an

Vor Beginn einer Atembewegung herrscht in den Alveolen der Barometerdruck (P_B). Versteht man die Luftwege als ein System kommunizierender Röhren, so kann

man unter der Bedingung einer Atemstromstärke($\dot{V}$) = 0 am Mund die Druckänderungen registrieren, die den alveolären Gradienten entsprechen :

$$P_A = P_M$$

Gleichung II nach V_L aufgelöst lautet dann :

$$V_L = \frac{\Delta V_L}{\Delta P_M} \cdot (P_B \pm \Delta P_M) \qquad (III)$$

P_B : Barometerdruck

Die Druckveränderungen am Mund (P_M) betragen beim Atemmanöver nur ca 10 - 20 cm H_2O . Damit wird die Differenz zwischen P_B= 950 - 1000 cm H_2O und ($P_B - \Delta P_M$) sehr gering. Man kann sie ohne großen Fehler vernachlässigen und damit die Formel vereinfachen :

$$V_L = \frac{\Delta V_L}{\Delta P_M} \cdot P_B \qquad (IIIa)$$

Für die Luft in der Lunge gilt, daß sie einen Feuchtigkeitsgehalt von 100% und eine Temperatur von 37 Celsius hat. Damit ergibt sich ein Wasserdampfdruck von 47 mm Hg oder 64 cm H_2O. Dieser Druck ist nur von der Temperatur aber nicht vom Volumen abhängig, ändert sich also nicht beim Atemmanöver. Gleichung IIIa muß also ergänzt werden, indem vom Barometerdruck (P_B) der Wasserdampfdruck subtrahiert wird:

$$V_L = \frac{\Delta V_L}{\Delta P_M} \cdot (P_B - P_{H_2O}) \qquad (IV)$$

Aus dieser Gleichung kann V_L = TGV direkt errechnet werden, wenn ΔP_M und ΔV_L gemessen werden.

2.1.2 Die Meßapparatur

Für die Messung benutzten wir einen Volume Displacement Plethysmographen der Firma Fenyves und Gut, Basel. Dieser Typ wird auch als druckkonstanter Ganzköreperplethysmograph bezeichnet.

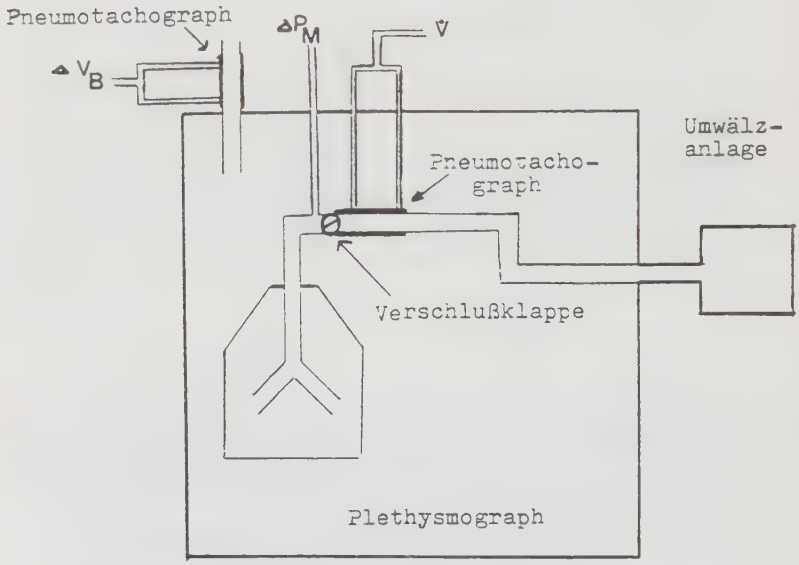


Abb. 1 Schematische Darstellung eines druckkonstanten Plethysmographen

Die Plethysmographenkammer ist luftdicht und nur über einen Pneumotachographen mit der Außenluft verbunden. Dieser registriert durch Flußintegration die Kammervolumenschwankungen (ΔV_B).
Der Patient sitzt mit verschlossener Nase in der Kam-

mer und atmet über ein Mundstück Luft aus einer Umwälzanlage ein, in der sie auf BTPS - Bedingungen gebracht wird. Ein Pneumotachograph an dem Mundstück registriert den Atemfluß und damit auch das Atemzugvolumen. Am Mundstück wird weiterhin über ein Manometer die Druckänderung im Mund (ΔP_M) registriert. Eine Klappe am Mundstück ermöglicht das Unterbrechen des Luftstroms.
Die gemessenen Werte werden auf ein Magnetband gespeichert und können mit Hilfe eines X-Y -Schreibers graphisch dargestellt werden.

2.1.3 Das thorakale Gasvolumen (TGV)

Die intrathorakalen Volumenschwankungen (ΔV_L) finden ihre Entsprechung in der Kammervolumenschwankung (ΔV_B).Gleichung IV lautet dann :

$$V_L = \frac{\Delta V_B}{\Delta P_M} \cdot (P_B - P_{H_2O}) \qquad (V)$$

Die Veränderungen des Munddruckes (ΔP_M) und des Kammervolumens (ΔV_B) werden aufgezeichnet :

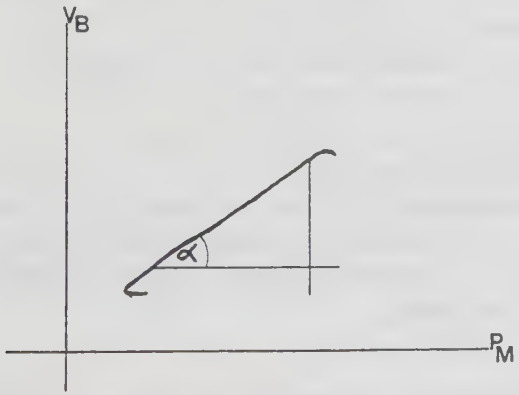


Abb. 2 Kurve zur Bestimmung des TGV bei Shutterschluß

Voraussetzung der Entsprechung von ΔV_L und ΔV_B ist, daß am Mund der Atemfluß $\dot{V} = 0$ ist. In der praktischen Durchführung wird am Mundstück eine Klappe (Shutter) geschlossen und der Proband aufgefordert langsam und gleichmäßig gegen diesen unendlich großen Widerstand zu atmen. Dabei stellt sich ein Druckausgleich in den Luftwegen ein ($P_A = P_M$) und der Brustkorb wird gedehnt. In dem gleichen Maß wie der Thorax gedehnt wird (ΔV_L) wird das Volumen des Plethysmographen Vermindert (ΔV_B).
Für die mathematische Bestimmung ist V_L = TGV direkt proportional dem Tangens des Neigungswinkels der aufgezeichneten Geraden. Bei gegebenem Barometerdruck kann die Größe des TGV jetzt unter Berücksichtigung feststehender Eichfaktoren für die Kammervolumenbestimmung und die Munddruckmessung berechnet werden. Das Volumen zwischen Mund und Shutter von 180 ml muß noch subtrahiert werden.
Wird das TGV am Ende der Exspiration gemessen, dann entspricht es der FRC, Diese Messung wurde in der vorliegenden Arbeit angewendet.
Von der Hardt (17) gibt für den Volume Displacement Plethysmographen einen Fehler von 1-3% bei der Bestimmung der Kammervolumenschwankung an. Bei der Bestimmung des Atemzugvolumens liegt der technische Fehler bei 1%. Insgesamt geht damit ein Fehler von 2,5-4% in die Berechnung des TGV ein.

2.1.4 Der Atemwegswiderstand (R_{aw})

Der Strömungswiderstand bei der Atembewegung ist definiert als der Quotient aus Alveolardruck (P_A) und Atemflußstärke ($\dot{V}$) unter der Annahme einer linearen Druck - Fluß -Beziehung :

$$R_{aw} = \frac{P_A}{\dot{V}} \qquad (VI)$$

Der alveoläre Druck ist aber nicht direkt meßbar. Nur zum Zeitpunkt des Atemmanövers gegen den geschlossenen Shutter findet er seine Entsprechung im Munddruck. Löst man Gleichung $\overline{V}$ nach $\triangle P_M$ auf, dann zeigt sich, daß der Alveolardruck(P_A) respektive P_M darstellbar ist durch die Kammervolumenschwankung ($\triangle V_B$) :

$$P_A = P_M = \frac{\triangle V_B}{V_L} \cdot (P_B - P_{H_2O}) \qquad (Va)$$

Die Kammervolumenschwankung ($\triangle V_B$) verhält sich gegensinnig zum Alveolardruck ($\triangle P_A$). Während der Inspiration vergrößert sich das intrathorakale Volumen und der Munddruck nimmt ab. Gleichzeitig steigt der Kammerdruck und das Kammervolumen sinkt, meßbar als Luftausstrom durch den Pneumotachographen in der Plethysmographenwand ($\triangle V_B$). Die Exspiration stellt den umgekehrten Vorgang dar. Die registrierte Kammervolumenschwankung ($\triangle V_B$) kann damit als dynamischer Eichwert für P_A stehen :

$$R_{aw} = \frac{\triangle V_B \cdot (P_B - P_{H_2O})}{V_L} \cdot \frac{1}{\dot{V}} \qquad (VII)$$

V_L= TGV ist bereits berechnet. Mit Hilfe der vom X - Y- Schreiber aufgezeichneten Flow - Volumenkurve und der Kurve, die sich ergibt bei der Aufzeichnung von $\triangle V_B$ gegen $\triangle \overline{V}_M$, kann jetzt R_{aw} mathematisch ermittelt werden:

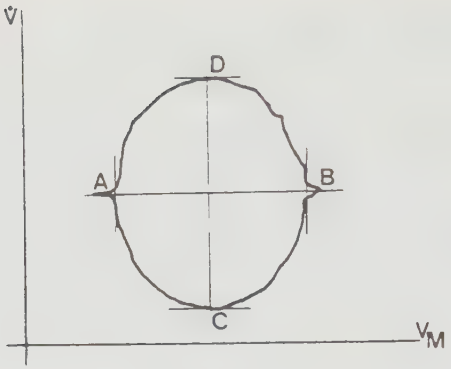


Abb. 3 Flow - Volumen - Kurve zur Bestimmung der Resistance (R_{aw}).

V_M = Atemvolumen

$\overline{AB}$ = Atemzugvolumen

$\overline{CD}$ = Flow (Atemstromstärke)

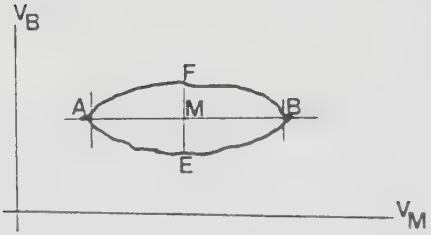


Abb. 4 Kammervolumenschwankung - Atemvolumen - Kurve zur Resistancebestimmung

$\overline{EF} = \Delta V_B$ $\overline{AB}$ = Atemzugvolumen (AZV)

Wir bestimmen von der Hardt und Geubelle (18) folgend die Atemstromstärke und die Kammervolumenschwankung in der Mitte des Atemzugs. Gleichung VI muß deshalb noch korrigiert werden:

$$R_{aw} = \frac{V_B \cdot (P_B - P_{H_2O})}{\dot{V} \cdot (V_L - {}^1/_2\ AZV)} \cdot K \quad (VIII)$$

K ist die spezifische Eichkonstante für den Plethysmographen.
In die beschriebene Meßmethode geht nach Hofmann (19) ein systematischer Fehler von 7% ein.

2.1.5 Der spezifische Atemwegswiderstand (SR_{aw})

Der Atemwegswiderstand (R_{aw}) ist eine von der Größe der Lunge und des Bronchialsystems abhängige Meßgröße, das heißt: Mit wachsender Lunge wird der Widerstand (R_{aw}) relativ kleiner. Kinder erreichen weitaus höhere Widerstandswerte als Erwachsene. Um von dem Lungenvolumen unabhängige Meßwerte zu erhalten, hat man den Begriff der spezifischen Resistance eingeführt (20) :

$$SR_{aw} = R_{aw} \cdot TGV \quad (IX)$$

Dieser Begriff hat im strengen Sinne keine eigentliche physiologische Entsprechung, sonder stellt eine Rechengröße dar. In Gleichung VII eingesetzt lautet die Formel dann :

$$SR_{aw} = \frac{V_B \cdot (P_B - P_{H_2O})}{V \cdot TGV} \cdot TGV$$

$$= \frac{V_B}{V} \cdot (P_B - P_{H_2O}) \quad (X)$$

2.2 Die oszillatorische Widerstandsmessung

2.2.1 Das Meßverfahren

Beim oszillatorischen Meßverfahren wird der Versuch gemacht, mit Hilfe eines Analogmodells aus der Wechselstromtheorie das physiologische System der Atmung zu beschreiben.

Die Bewegung einer bestimmten Luftmenge in die Lunge hinein (Inspiration) erfordert einen bestimmten Kraftaufwand. Dieser wird in erster Linie von dem Zwerchfell geleistet. Dabei müssen Kräfte überwunden werden, die eine unterschiedliche Richtung haben :

A) Die Reibungskraft (F_R) wird hauptsächlich von dem Strömungswiderstand der Atemwege bestimmt. Daneben geht noch der Gewebewiderstand in diese Größe ein.

B) Die Trägheitskraft (F_M) in der Trachea und den Bronchien, des Thorax und der Lunge.

C) Die Retraktionskraft der Lunge, die darauf gerichtet ist, die gedehnte Lunge in ihre Ruhelage zurückzuführen. Diese elastische Kraft (F_E) setzt sich zusammen aus der Elastizität des Thorax- und Lungengewebes, sowie der Oberflächenspannung in den Alveolen.

Die Exspiration ist ein passiver Vorgang bewirkt durch die potentielle Energie, die am Ende der Inspirationsphase in dem Lungen-und Thoraxgewebe gespeichert ist.

Als mechanisches Analogmodell lassen sich diese Kräfte darstellen :

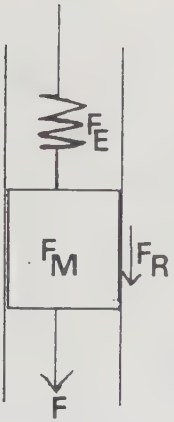


Abb. 5 Mechanisches Analogmodell der Atembewegungskräfte

Physikalisch kann man die elastische Kraft (F_E) mit Hilfe des Hook'schen Gesetzes beschreiben. Die Kraft ist proportional der Elongation einer Spiralfeder:

$$F_E \sim L$$

$$F_E = D \cdot L \qquad (1)$$

D ist der Elastizitätskoeffizient

Für die Reibungskraft (F_R) gilt, daß sie abhängig ist von der Oberflächenbeschaffenheit der bewegten Masse und der Bewegungsbahn. Sie erfährt eine Änderung proportional der Bewegungsgeschwindigkeit der bewegten Masse :

$$F_R \sim \frac{dL}{dt}$$

$$F_R = R \cdot \frac{dL}{dt} \qquad (2)$$

R ist der Reibungskoeffizient

Die Trägheitskraft ist nach dem 2. Newton'schen Bewegungsgesetz eine Funktion der Masse und proportional der Beschleunigung :

$$F_M \sim \frac{d^2L}{dt^2}$$

$$F_M = M \cdot \frac{d^2L}{dt^2} \qquad (3)$$

Die Bewegunggen der Lunge finden im Raum statt. Damit muß in der formalen Beschreibung die Länge (L) in das Volumen (V) und die Kraft (F) in den Druck (P) übergehen:

$$\Delta p = D \cdot V \qquad (1a)$$

D ist für die Lunge als der Kehrwert der Compliance (C_L) bestimmt.

$$\Delta p = \frac{1}{C_L} \cdot V \qquad (1a)$$

p ist die Druckdifferenz zwischen Atmosphärendruck und intrapulmonalem Druck.

$$\Delta p = R \cdot \frac{dV}{dt} \qquad (2a)$$

Wobei der Ausdruck $\frac{dV}{dt}$ die Flußgeschwindigkeit $\dot{V}$ darstellt:

$$\Delta p = R \cdot \dot{V} \qquad (2a)$$

$$\Delta p = I \cdot \frac{d^2V}{dt^2} \qquad (3a)$$

Der Ausdruck $\frac{d^2V}{dt^2}$ steht für die Beschleunigung $\ddot{V}$.

$$\Delta p = I \cdot \ddot{V} \qquad (3a)$$

I wird als Symbol der Trägheitmasse von Lunge, Thorax, und Luft in der Trachea und den Bronchien eingesetzt.

Für den Fall der Linearität der Druck - Volumen - Beziehung in der Lunge addieren sich die Einzelkräfte:

$$\Delta p = \frac{1}{C_L} \cdot V + R \cdot \dot{V} + I \cdot \ddot{V} \qquad (4)$$

Linearität ist anzunehmen für normale Atemvolumina(21)

An diesem Punkt der formalisierten physikalischen Beschreibung muß nun die Bedingung für eine harmonische Schwingung eingeführt werden :

$$V = V_0 \cdot \sin \quad t \qquad (5)$$

Damit wird die Voraussetzung geschaffen, das Atmungssystem mit dem Analogmodell des elektrischen Schwingkreises zu erfassen. Durch Integration und Differentiation der Gleichung (5) werden das Volumen und die Beschleunigung im Schwingkreis erfaßt :

$$V = \int_0^t \dot{V}\, dt = -\frac{1}{} V_0 \cdot \cos \quad t \qquad (6)$$

$$\ddot{V} = \frac{d^2V}{dt^2} = \dot{V}_0 \cdot \cos \quad t \qquad (7)$$

Damit läßt sich nun die Gleichung (4) wie folgt darstellen:

$$P_{(t)} = \frac{1}{C_L} \cdot \frac{-1}{\omega} \dot{V}_0 \cos\omega t + R \cdot \dot{V}_0 \sin\omega t$$

$$+ I \dot{V}_0 \cos\omega t$$

(4a)

$$= \dot{V}_0 \{ (I\omega - \frac{1}{C_L \omega}) \cos\omega t + R \sin\omega t \}$$

Für die Erfassung der Impedanz im elektrischen Schwingkreis gilt :

(8) $\quad a \sin\omega t + b \cos\omega t = A \sin(\omega t - \varphi)$

(9) $\quad A = |Z| = \sqrt{a^2 + b^2}$

Z ist der Scheinwiderstand, die Impedanz. Der Phasenwinkel ist :

(10) $\quad \tan\varphi = \frac{a}{b}$

Daraus ergibt sich für Z :

(9a) $\quad |Z| = \sqrt{R^2 + (I\omega - \frac{1}{C_L \omega})^2}$

Der Phasenwinkel ist dann :

(10a) $\quad \tan = \frac{I - \frac{1}{C_L \omega}}{R}$

Die Analogie zwischen dem Atmungssystem und dem elektrischen System :

Volumen (V) ——— Ladung (Q)

Druck (P) ——— Spannung (U)

Atemfluß ($\dot{V}$) ——— Stromstärke ($\dot{Q}$)

Dabei entspricht :

Atemwegswiderstand (Ra_w) — Ohmscher Widerstand (R)

Gewebewiderstand (C) — Kapazitiver Widerstand (C)

Trägheit der bewegten Luft und des Gewebes (I) — Induktiver Widerstand (L)

Aus (9a) und (4a) folgt :

(11) $P_{(t)} = \dot{V}_0 \cdot Z \sin(\omega t + \varphi)$

Die Impedanz ist somit eine Funktion von Druck($P_{(t)}$) und Atemfluß (V) :

(12) $Z = \frac{P_{(t)}}{\dot{V}} = |Z| \sin(\omega t + \varphi)$

Als komplexe Größe läßt sich die Impedanz im Zusammenhang mit dem Ohmschen Widerstand und der Reaktanz graphisch darstellen:

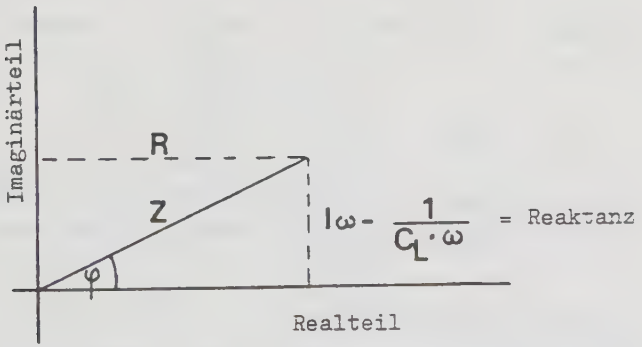


Abb. 6 Komplexe Darstellung der Impedanz

Als Resonanzbedingung gilt, daß die Reaktanz Null ist.

Nur unter dieser Bedingung ist der Meßwert der Impedanz gleich dem Wert des Realteils. Somit findet die physiologisch definierte R_{aw} nur im Resonanzfall ihre Entsprechung in der Impedanz.
Theoretisch müßte bei Überwiegen der elastischen Kräfte über die Trägheitskräfte der Phasenwinkel negativ werden. Und im umgekehrten Fall müßte er positiv werden (1). Für das Meßverfahren gelten die Kirchhoff'schen Regeln. Aus diesen folgt, daß bei Parallelschaltung der Widerstände der Kehrwert des Gesamtwiderstands gleich der Summe der Einzelwiderstände ist :

(13) $$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \cdots\cdots$$

(13a) $$\frac{1}{Z_{ges}} = \frac{1}{Z_0} + \frac{1}{Z}$$

Bringt man die Formel (12) und (13a) zusammen, dann folgt :

(14) $$\frac{\dot{V}}{P_{(t)}} = \frac{1}{Z_0} + \frac{1}{Z}$$

Bei gegebenem Z_0 und gegebenem Atemfluß $\dot{V}$ kann Z errechnet werden, wenn $P_{(t)}$ gemessen werden kann.

2.2.2 Die Meßapparatur

Korn et al. (22) stellen mit dem Siregnost FD5 eine Apparatur vor, die den Anforderungen der Messung entspricht.
Dabei atmet der Proband Raumluft durch einen Schlauch mit definierter Länge und definiertem Durchmesser. Dieser Schlauch gibt einen Referenzwiderstand Z_0 ab für die oszillatorische Widerstandsmessung. Am Mundstück

wird von einer Membranpumpe mit definiertem Hubvolumen und definierter Frequenz ein Volumenstrom ($\dot{V}\sim$) eingeprägt, der die Atemströmung überlagert.
Die Atemströmung hat normalerweise bei einer Ruheatmung von 10 - 18 Atemzügen / min eine Frequenz von 0,17 - 0,3 Hz. Der Frequenzunterschied zwischen aufgeprägtem Wechselstrom und dem Atemstrom soll dabei so groß sein, daß die niederfrequente Atemschwingung herausgefiltert werden kann.
Der aufgeprägte Volumenstrom ($\dot{V}\sim$) verteilt sich entsprechend den Widerstandsverhältnissen zwischen Atemtrakt und Referenzwiderstand. Dabei entsteht am Mundstück ein Wechseldruck ($P_m\sim$), der von einem Mikrophon erfaßt wird.

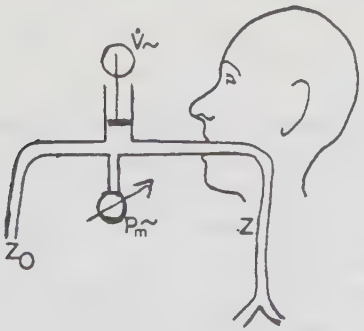


Abb. 7 Arbeitsprinzip der oszillatorischen Messung

Z_0 = Referenzwiderstand

$P_m\sim$ = Munddruck

Z = respiratorische Impedanz

$\dot{V}\sim$ = Oszillationsstrom

Im elektrischen Analogschaltbild dargestellt :

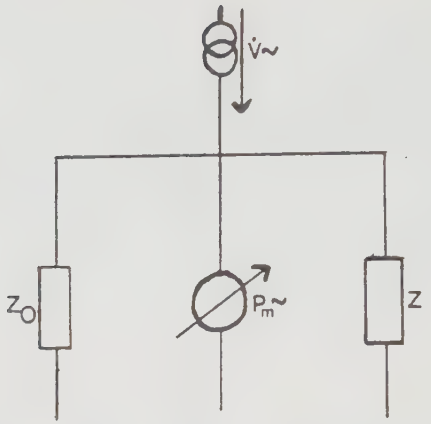


Abb. 8

Bei dem von uns benutzten Gerät atmet der Proband durch einen Platikschlauch mit 100 ml Totraum. Damit ist ein Referenzwiderstand von 10 cm $H_2O \cdot l^{-1} \cdot$ sec vorgegeben mit einem Phasenwinkel von 81°. Die aufgeprägte Wechselströmung hat 10 Hz .
Nach Auswertung der gemessenen Wechseldrucke im Gerät werden die erhaltenen Werte des Realteils der Impedanz (R_{ez}) und der Phasenwinkel mit einem X - Y- Schreiber aufgezeichnet.
Auf einem Zeigerinstrument kann der Absolutbetrag der Impedanz abgelesen werden. Er wird als oszillatorischer Atemwiderstand (R_{os}) bezeichnet. Korn et al. (4) geben eine weitgehende Begrenzung der Messung von R_{os} auf einen Bereich unterhalb der Schwelle von 10 mbar/l/sec an.

Name: _____ geb.: _____ Grösse: _____ cm Untersuchungs-Datum: _____

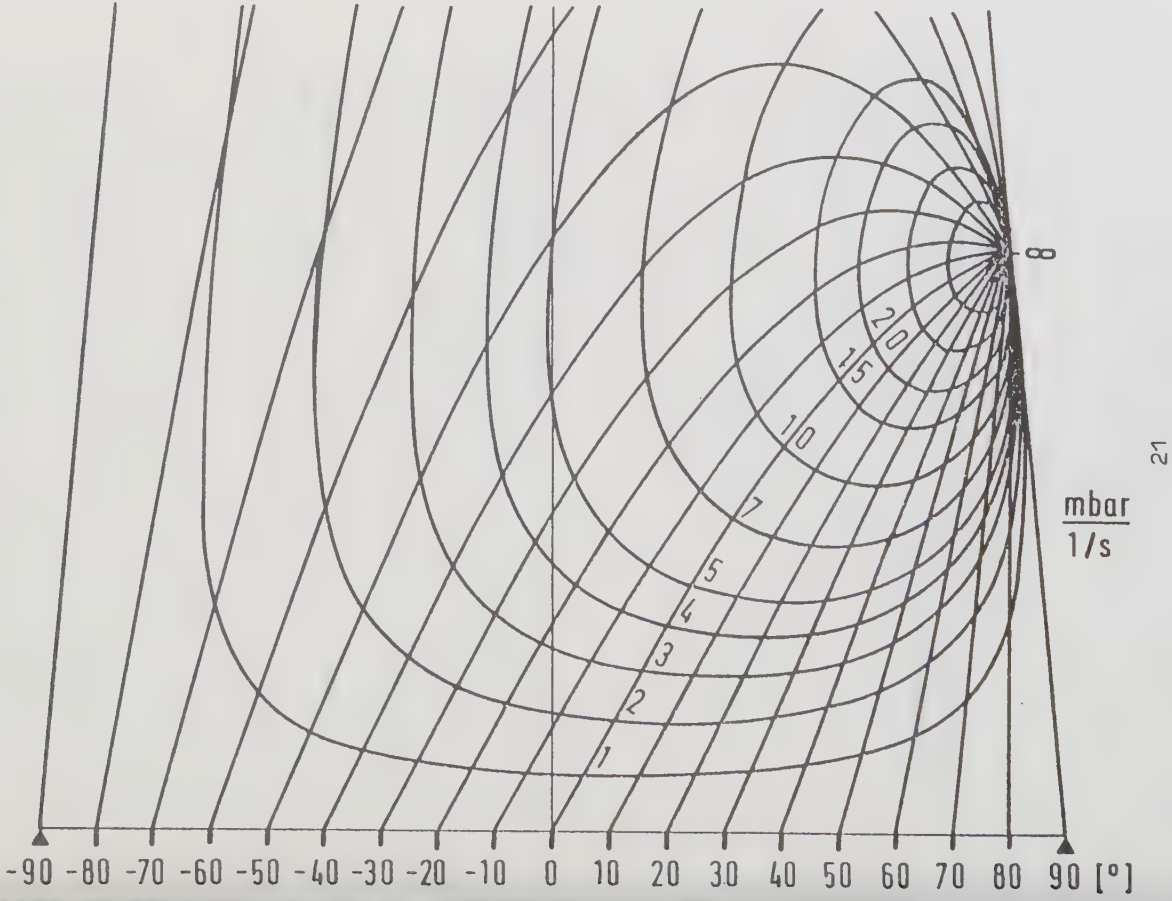


Abb. 9 Diagrammpapier zur Aufzeichnung von R_{ez} und Phasenwinkel

Da Kinder oft schon vor einsetzender Obstruktion nahe diesem Grenzwert liegen, werteten wir für unsere Untersuchung nur den Realteil der Impedanz und den Phasenwinkel aus.

2.2.3 Die Berechnung der Impedanz

Die Formel (14) läßt sich nach Z auflösen :

$$Z = \frac{P_t \cdot Z_0}{\dot{V} \cdot Z_0 - P_t} \qquad (14a)$$

P_t wird als $P_{\tilde{m}}$ = oszillatorischer Wechseldruck am Mund gemessen.

$\dot{V}$ ist die vorgegebene oszillatorische Wechselströmung ($\dot{V}\sim$).

$$Z = \frac{P_{\tilde{m}} \cdot Z_0}{\dot{V} \cdot Z_0 - P_{\tilde{m}}} \qquad (15)$$

Da ein sinusförmiger Wechselfluß im Atemtrakt eine Dämpfung erfährt, läßt sich Z besser in exponentieller Form darstellen:

$$Z = z \cdot e^{j\varphi} \qquad (16)$$

Für Gleichung (15) ergibt sich :

$$z \cdot e^{j\varphi} = \frac{\bar{p} \cdot e^{j(\alpha + \varphi)}}{e^{j\alpha} - \bar{p} \cdot e^{j\varphi}} \qquad (15a)$$

Dabei ist $\bar{p} = \frac{P}{\dot{V} Z_0}$ und $z = \frac{Z}{Z_0}$

α ist der Phasenwinkel für den Referenzwiderstand und φ der Gesamtphasenwinkel zwischen Druck und Fluß. Diese Berechnung wird vom Gerät ausgeführt.

2.2.4 Die Durchführung der Messung

Der Proband bekommt eine Nasenklammer aufgesetzt, damit ein zusätzlicher Atemfluß durch die Nase die Messung nicht stört. Das Mundstück des Schlauches soll von den Lippen fest umschlossen sein. Die Messung kann dann bei normaler Atmung vorgenommen werden. Die einzige weitere Mitarbeit des Probanden besteht darin, seine Wangen mit der flachen Hand festzuhalten. Damit soll eine Dämpfung des Oszillationsstroms im Mund so gering wie möglich gehalten werden.
Als Störfaktoren können wirken :
1. Eine gebeugte Körperhaltung, bei der der Kopf gegen die Brust gedrückt wird und so der Atemwegswiderstand erhöht wird.
2. Schlucken oder unwillkürlicher Glottisschluß, welches zu hohen Widerstandswerten führt.
Unter Berücksichtigung dieser Faktoren wurde die Messung während einiger Atemzüge durchgeführt und die registrierten Werte von R_{ez} und φ abgelesen vom Diagrammpapier.

2.3 Die Methodik der bronchialen Allergentestung

Für die inhalative Allergenbelastung folgen wir dem von von der Hardt und Meiser (23) beschreibenen Modell.
Mit Hilfe eines Verneblers wird das Allergen in einen Beutel zerstäubt, der 30 Liter Luft faßt. Das so entstandene Aerosol wird von dem Probanden in 5 - 8 Minuten eingeatmet. Die bronchiale Provokation erfolgt in Konzentrationen von 0,025 - 10,0 mg / ml des Allergens.
Vor Beginn einer Testserie wird ein Aerosol mit physiologischer Kochsalzlösung inhaliert. Die danach gemessenen Werte für die Atemmechanik werden als Leerwerte (Bezugsgröße) für die Meßwerte nach Provokation genommen. Die Allergenbelastung erfolgt mit den niedrigsten Konzentrationen beginnend unter fortlaufender Kontrolle der Lungenfunktionswerte. Bei schrittweiser Steigerung der Dosis (0,025 - 0,05 - 0,1 - 0,25 - 0,5 - 1,0 - 2,5 - 5,0 - 10,0 mg / ml) wird die bronchiale Reaktionsschwelle bestimmt. Der Provokationstest wird beendet bei der Allergenkonzentration, bei der Zeichen der Bronchusobstruktion auftreten.
Die fortlaufende Kontrolle der atemmechanischen Werte soll die pathologische Reaktion schon erfassen bevor eine klinische Symtomatik auftritt.
Für die Histaminbelastung gilt, daß die Konzentration von 10 mg / ml als Grenzwert auch bei normergischen Probanden bronchiale Reaktionen hervorrufen kann. Für die Beurteilung der Hyperirritabilität geben von der Hardt und Meiser 3 Grade an :
1. Bronchusobstruktionen bei Konzentrationen bis

0,5 mg / ml = starke Hyperergie

2. Bronchusobstruktionen bei Konzentrationen zwischen 1,0 und 2,5 mg / ml = eindeutige Hyperergie

3. Bronchusobstruktionen bei Konzentrationen bis 5,0 mg / ml = geringe Hyperergie

Als Schwelle für eine meßbare Obstruktion gelten uns in Anlehnung an von der Hardt (24) eine Steigerung des Atemwegswiderstands (R_{aw}) um 50% und / oder eine Vermehrung des thorakalen Gasvolumens (TGV) um mindestens 30% gemessen mit dem Ganzkörperplethysmographen.
Nach Registrierung der atemmechanischen Veränderungen wird bei obstruktiver Reaktion sofort ein Bronchospasmolytikum gegeben und die erfolgende Broncholyse kontrolliert.

2.4 Die Gruppe der untersuchten Kinder

Die Untersuchungsgruppe besteht aus 49 Kindern. Sie wurden von der Poliklinik der Universitätskinderklinik Frankfurt an das Lungenfunktionslabor überwiesen mit der Verdachtsdiagnose eines exogenen Bronchialasthmas. Erfaßt wurden die Kinder in der Zeit von September 1978 bis März 1979. Kriterium war hier die pollenfreie Jahreszeit. Ein weiteres Auswahlkriterium bestand nicht. Die Kinder wurden in der Reihenfolge ihrer Anmeldung in dem Lungenfunktionslabor getestet. Die Mitarbeit der Kinder war Dank der freundlichen Zuwendung der Schwestern im Lungenfunktionslabor gut.

19 Mädchen und 30 Jungen im Alter zwischen $5^{1}/2$ und $16^{1}/2$ Jahren wurden untersucht. Die 49 Kinder haben ein mittleres Alter von $10^{7}/12$ Jahren.

Die geringste Körpergröße hat Kind Nr. 30 mit 118,5cm im Alter von 7 Jahren. Das jüngste Kind hat mit $5^{1}/2$ Jahren 119,5cm. Der $16^{10}/12$ Jahre alte Proband hat die größte Körperlänge mit 179,5cm. Der mittlere Wert der Körperlänge ist $\bar{x}$ = 144,2 cm.

Nach den Kriterien von von der Hardt (24) und von der Hardt/Meiser (23) lag bei 33 Kindern eine starke Hyperergie vor. 10 Kinder zeigten eine eindeutige hyperergische Reaktion. Bei 3 Kindern wurde eine geringe Reaktion diagnostiziert. Dabei zeigte Kind Nr. 42 erst bei der Grenzkonzentration von 10mg/ml Histamin eine eindeutige Reaktion. 3 Kinder waren als nicht hypersensibel anzusehen (Nr. 11, 25, 49). Bei ihnen zeigte sich weder in dem R_{aw} noch indem TGV noch in dem SR_{aw} eine den Normbereich überschreitende Veränderung. Wobei Kind Nr. 25 nur bis 5mg/ml Histamin getestet wurde.Es war aber offensichtlich aus dem Verlauf der Provokationsreihe, daß keine obstruktive Reaktion eintrat.

Tabelle 1 : Das Versuchskollektiv

Nr.	Name	Alter	Größe	Dosis
1	H.,Antje	8 7/12	133,5	1000
2	H.,Stefan	11 5/12	143,0	250
3	B.,Birgit	13	155,5	1000
4	K.,Rainer	11 6/12	155,0	1000
5	K.,Sabine	13	158,0	500
6	J.,Frank	7 5/12	142,5	1000
7	R.,Michael	10 4/12	139,0	250
8	H.,Christel	7 9/12	134,0	500
9	K.,Markus	8 7/12	138,0	250
10	H.,Andreas	11 8/12	153,5	500
11	v.W.,Wolf	14 3/12	162,0	1000
12	G.,Christoph	10 10/12	139,0	250
13	D.,Barbara	9 6/12	133,5	5000
14	D.,Thomas	15	163,5	2500
15	Sch.,Stefan	12 1/12	149,0	250
16	K.,Bettina	9 11/12	132,0	5000
17	B.,Markus	13	165,0	100
18	E.,Jörg	10	136,0	1000
19	G.,Markus	14 1/12	159,0	50
20	B.,Roger	14	147,0	500
21	W.,Jörn	9 3/12	142,0	250
22	H.,Petra	8	130,0	1000
23	B.,Ingo	9 7/12	136,0	500
24	K.,Erik	16 10/12	179,5	100
25	J.,Sylvie	9 7/12	140,0	5000
26	S.,Sven	12 5/12	155,0	250
27	L.,Jörg	8 4/12	126,0	100
28	O.,Yvonne	9 8/12	134,5	500
29	W.,Udo	12 4/12	144,0	500
30	Sch.,Alexander	7	118,5	100
31	S.,Anette	11	144,0	500
32	D.,Dirk	10 5/12	134,0	100
33	I.,Martina	6 5/12	118,0	500
34	H.,Alexander	11 9/12	142,5	250
35	G.,Holger	10 4/12	142,0	250
36	W.,Markus	8 10/12	143,0	1000
37	F.,Inga	10 1/12	147,5	1000

Nr.	Name	Alter	Größe	Dosis
38	R.,Ronald	8 8/12	136,0	250
39	F.,Guido	6 1/12	121,5	500
40	S.,Anne	11 6/12	142,0	250
41	G.,Sabine	12	159,5	100
42	R.,Michaela	10 10/12	155,5	10000
43	S.,Beate	13 2/12	157,5	2500
44	N.,Petra	12 10/12	151,5	500
45	D.,Eva	14 4/12	160,0	100
46	P.,Bernd	10 11/12	145,5	500
47	B.,Frank	9 4/12	143,0	250
48	G.,Christiane	13 2/12	158,5	250
49	K.,Andreas	5 6/12	119,0	10000

Alter in Jahren
Größe in cm
Dosis: applizierte Höchstdosis in γ Histamin
1 γ = 0,001 mg / ml

2.5 Der Untersuchungsablauf

Den Probanden mußte zuerst einmal der Testablauf gründlich erklärt werden. Besonders beim Ganzkörperplethysmographen ist das Kennenlernen des Geräts schon vor der Untersuchung sehr wichtig. Nur so kann bei jüngeren Kindern eine weitgehende Angstfreiheit erzeugt werden. Oft hilft ein 'Probesitzen' in dem Gerät.
Kinder mit klinischer Symptomatik mußten auf einen anderen Termin verwiesen werden. Symptomfreiheit ist Voraussetzung der Testung.
Vor der Untersuchung wurden die Geräte geeicht und der Barometerdruck im Labor bestimmt. Während der Messung waren die Fenster und die Tür des Labors geschlossen, um Luftdruckveränderungen im Raum zu vermeiden.
Dem beschriebenen Modell der bronchialen Allergentestung folgend, atmete der Proband zuerst aus einem Luftsack ein Aerosol aus 2 ml physiologischer Kochsalzlösung und 30 l Luft. Bei fehlender Reaktion wurden die Leerwertmessungen mit dem Ganzkörperplethysmographen und dem FD 5 nach der Kochsalzinhalation festgelegt.
Nun folgte unter fortlaufender Kontrolle mit den beiden Meßverfahren die Inhalation von jeweils 30 l Aerosol mit steigender Histaminkonzentration.
Die Höchstbelastungsdosis wurde jeweils registriert, fand aber für unsere Untersuchung keine Berücksichtigung, da es Ziel ist die atemmechanischen Meßparameter der beiden Verfahren miteinander zu vergleichen, und nicht die Schwellenwerte der Hyperergie.
Bei der Histaminbelastung zeigte kein Kind eine so starke Reaktion, daß ärztliche Intervention notwendig geworden wäre.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Die Meßwertegruppen

3.1.1 Das thorakale Gasvolumen (TGV)

Das TGV, gewonnen zum Zeitpunkt des Shutterschlusses, setzt sich zusammen aus dem Residualvolumen und dem exspiratorischen Reservevolumen.
Tabelle 2 stellt die Meßwerte vor und nach bronchialer Histaminbelastung dar, sowie die Abweichung beider Werte von einander absolut und in Prozent. Die Maßeinheit ist Milliliter.
Die Leerwertmessung vor Belastung zeigt eine breite Streuung der Werte mit einer Standardabweichung von 35%. Linn und Glasemann (25) geben zwar für die Untersuchung gesunder Kinder nur eine Standardabweichung von 21,5% an, aber in der Gruppe asthmakranker Kinder erhöht sich die Streuung bei ihrer Leerwertmessung auf SD= 38%. Damit liegt unsere Gruppe im Rahmen der bisherigen Erfahrungswerte des Labors. Diese Beobachtung ist auch aus der Literatur bekannt (36).
Die Meßwerte nach Histaminprovokation sind im Mittel um 40% erhöht. In der Streuung zeigt sich keine Veränderung (SD = 36%). Es hat also in dem Versuchskollektiv eine deutliche Reaktion stattgefunden.
Die stärkste Erhöhung hat das Kind Nr. 20 mit 146%.
3 Kinder zeigen eine über 100% ige Steigerung. Insgesamt haben 26 Kinder eine pathologische Erhöhung des thorakalen Gasvolumens im Testverlauf, legt man das von von der Hardt (24) angegebene Kriterium der 30% igen Steigerung zugrunde. Bei 20 Kindern kann man eine mäßige Zunahme des TGV registrieren. 3 Kinder zeigen eine leichte Abnahme des TGV. Der niedrigste Wert der prozentualen TGV - Abweichung ist -2%. Unter den Kindern

Nr.	TGV vor Belastung	TGV nach Belastung	Δ TGV	%Abweichung
1	1674	2454	780	47
2	2410	3380	970	40
3	2834	3842	1008	36
4	2298	2754	456	20
5	2195	2720	525	24
6	1588	2479	891	50
7	1586	2686	1100	69
8	1169	1563	394	34
9	1659	2612	953	57
10	2644	3724	1080	41
11	2455	2472	- 28	- 1
12	1987	2501	514	26
13	1219	1792	573	47
14	2241	3057	816	36
15	2308	2692	384	17
16	1564	1552	- 12	- 1
17	2539	4970	2431	96
18	1272	1556	284	22
19	2743	3704	961	35
20	1095	2699	1604	146
21	1614	2772	1158	72
22	1040	1569	529	51
23	1698	2664	966	57
24	4355	4935	580	13
25	1182	1400	218	18
26	2294	2774	480	21
27	1753	2905	1152	66
28	1260	2020	760	60
29	1553	1703	150	10
30	1387	1705	318	23
31	1754	3553	1799	103
32	1964	2461	497	25
33	970	1212	242	25
34	2079	2579	500	24
35	2759	4308	1549	56
36	1540	1956	416	27
37	2162	2577	415	19
38	1556	1522	- 34	- 2
39	1046	1517	471	45
40	1754	2149	395	23
41	2614	3817	1203	46
42	1880	2676	796	42
43	2812	4033	1221	43
44	2613	4365	1752	67
45	3527	4117	590	17
46	1956	2304	348	18
47	1737	3555	1818	105
48	2505	3122	617	25
49	1156	1350	194	17
	$\bar{x}$=1959	$\bar{x}$=2711	$\bar{x}$= 751	$\bar{x}$=40
	s= 684	s= 963	s= 530	s=29

Tabelle 2 : TGV - und Abweichungswerte in ml und %

Nr.	Sollwert	TGV vor Belastung	Abw. in %	TGV nach Belastung	Abw. in %	Differenz Abw.%
1	929	1674	80	2454	164	84
2	1119	2410	115	3380	202	87
3	1430	2834	98	3842	169	71
4	1416	2298	62	2754	95	32
5	1501	2195	46	2720	81	35
6	1108	1588	43	2479	124	80
7	1035	1586	53	2686	160	106
8	939	1169	25	1563	67	42
9	1015	1659	63	2612	157	94
10	1375	2644	92	3724	171	79
11	1624	2455	51	2427	50	- 1
12	1035	1987	92	2501	142	50
13	967	1219	26	1792	86	60
14	1671	2241	34	3057	83	49
15	1259	2308	83	2692	114	31
16	902	1564	74	1552	72	- 2
17	1721	2539	48	4970	189	141
18	976	1272	30	1556	59	29
19	1531	2743	79	3704	142	63
20	1210	1095	- 10	2699	123	133
21	1098	1614	47	2772	153	106
22	868	1040	20	1569	81	61
23	976	1698	74	2664	173	99
24	2286	4355	91	4935	116	25
25	1056	1182	12	1400	33	21
26	1415	2294	62	2774	96	34
27	803	1753	119	2905	262	144
28	948	1260	33	2020	133	100
29	1141	1553	36	1703	49	13
30	693	1387	100	1705	146	46
31	1141	1754	54	3553	211	158
32	939	1964	109	2461	162	53
33	686	970	41	1212	77	36
34	1108	2079	88	2579	133	45
35	1097	2759	152	4308	293	141
36	1119	1540	38	1956	75	37
37	1222	2162	77	2577	111	34
38	976	1556	59	1522	56	- 3
39	735	1046	43	1517	107	64
40	1098	1754	60	2149	96	36
41	1546	2614	69	3817	147	78
42	1430	1880	32	2676	87	56
43	1486	2812	89	4033	171	82
44	1322	2613	98	4365	230	133
45	1561	3527	126	4117	164	38
46	1175	1956	66	2304	96	30
47	1119	1737	55	3555	218	162
48	1516	2505	65	3122	106	41
49	699	1156	65	1350	93	28
	$\bar{x}$=1184	$\bar{x}$=1959	$\bar{x}$= 64	$\bar{x}$=2711	$\bar{x}$=129	$\bar{x}$= 64
	s= 314	s=684	s= 32	s= 963	s= 57	s= 43

Tabelle 3 : TGV-Sollwerte, sollwertbezogene TGV-Abweichungen in ml und %

die mit einer Verminderung des TGV reagieren (Nr. 11, 16, 38) , ist nur Nr. 11 als nicht hypersensibel diagnostiziert.
Des weiteren haben wir die Werte des TGV auf die für die Einzelpersonen errechneten Sollwerte bezogen (Tabelle 3). Hierdurch wird die Abhängigkeit von der Körgröße vermieden, Die Werte der Gruppe werden vergleichbar. Der Berechnung liegt die von Linn/Glasemann (25) im Lungenfunktionslabor der Frankfurter Universitätskinderklinik gefundene Formel zugrunde :

$$TGV = 68{,}15 \cdot e^{0{,}01957197 \cdot \text{Körpergröße}}$$

Die Gruppe der Leerwerte erweist sich als im Mittel um 64% höher liegend als die Sollwerte. Die 2SD- Grenze von 43% für die Normwerte wird erkennbar überschritten. Dies kann als Hinweis gedeutet werden auf ein "funktionelles Emphysem", wie es von Hofmann und Geubelle (9) beschrieben wird.
Als Folge davon sind auch die Meßwerte nach bronchialer Histamintestung im Normalwertbezug stark überhöht. Im Mittel wird dieser um 129% überschritten. Damit werden auch die Abweichungen der Meßwerte nach Belastung in Prozent des Sollwertes ausgedrückt gegenüber den Leerwerten in Prozent des Sollwertes weit größer als die einfachen prozentualen Abweichungen (TGV in %). Das kann aber nicht bedeuten, daß mit diesem rechnerischen Abweichungswert mehr pathologische Reaktionen erfaßt werden können. Der von von der Hardt (24) bestimmte Schwellenwert von 30% TGV-Steigerung ist nur ein Verlaufskriterium für die nominelle Abweichung im Provokationstest und hat keinen Bezug zu den Sollwerten.

3.1.2 Der Atemwegswiderstand (R_{aw})

Die Meßreihen des plethysmographisch gewonnen Widerstands (R_{aw}) sind in Tabelle 4 dargestellt. Als Kriterium gilt der von von der Hardt (24) gemessene Anstieg des Atemwegswiderstands von 50% als signifikante Reaktion bei bronchialer Allergentestung. Schon die Leerwertmessung liegt im Durchschnitt bei 5,53 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$. Damit wird der Schwellenwert von $3 cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ überschritten, jenseits dessen im Erwachsenenbereich pathologische Verhältnisse vorliegen (26). Da der bronchiale Strömungswiderstand im Kindesalter umgekehrt proportional der Lungengröße, respektive Körpergröße ist (27), liegt unser Ergebnis im Erwartungsbereich.

Dazu kommt, daß das erhöhte TGV in der Gesamtgruppe (n=49) eine Veränderung der R_{aw} ebenso erwarten läßt. Linn/Glasemann (25) haben in ihrer Gruppe von Asthmakindern sogar noch einen höheren Durchschnittswert von $\bar{x} = 7{,}048\ cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ bei der Leerwertbestimmung. Die Standardabweichung vor Belastung liegt in unserem Kollektiv (n=49) mit 35% in dem gleichen Streuungsbereich wie in der Asthmagruppe von Linn/Glasemann. Der niedrigste R_{aw} liegt bei 2,54 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ und der höchste bei 10,75 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ vor Belastung. Dieser Höchstwert wird von dem körperlich kleinsten Kind (Nr. 30) erreicht. Damit wird noch einmal die umgekehrte Proportionalität der R_{aw} zu der Körpergröße verdeutlicht.

Nach Belastung erhöht sich der R_{aw} auf 9,43 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ im Durchschnitt. Damit liegt er um 80% über der Leerwertbestimmung. Die Streuung liegt im gleichen Rahmen wie vor der Belastung mit SD = 34% .

Nr.	Raw vor Belastung	Raw nach Belastung	∆Raw	% Abweichung
1	4,72	8,59	3,87	82
2	7,26	11,73	4,47	62
3	3,95	6,96	3,01	76
4	4,75	8,70	3,95	83
5	3,79	10,63	6,84	180
6	4,09	8,82	4,73	116
7	7,69	12,49	4,80	62
8	6,44	9,82	3,38	52
9	4,20	6,45	2,25	54
10	2,88	11,45	8,57	298
11	3,70	5,09	1,39	38
12	4,23	11,02	6,79	161
13	4,36	5,77	1,41	32
14	2,95	3,53	0,58	20
15	8,22	12,25	4,03	49
16	5,67	8,95	3,28	58
17	4,77	14,47	9,70	203
18	6,89	9,55	2,66	39
19	5,54	9,01	3,47	63
20	8,53	11,38	2,85	33
21	5,93	9,22	3,29	55
22	6,61	8,07	1,46	22
23	6,08	11,52	5,44	89
24	3,64	6,18	2,54	70
25	5,01	5,63	0,62	12
26	5,05	8,18	3,13	62
27	8,51	21,30	12,79	150
28	5,46	8,15	2,69	49
29	3,32	7,44	4,12	124
30	10,75	14,54	3,79	35
31	3,93	5,16	1,23	31
32	6,26	10,36	4,10	65
33	8,11	13,05	4,94	61
34	3,97	9,20	5,23	132
35	7,10	4,31	- 2,79	- 61
36	3,43	5,17	1,74	51
37	4,29	10,29	6,00	140
38	6,93	12,70	5,77	83
39	5,86	10,72	4,86	83
40	5,05	7,64	2,59	51
41	4,96	11,14	6,18	125
42	3,89	8,71	4,82	124
43	3,19	8,47	5,28	166
44	9,46	15,73	6,27	66
45	8,51	11,02	2,51	29
46	2,78	8,44	5,66	204
47	8,14	8,08	- 0,06	- 1
48	2,54	5,98	3,44	135
49	7,40	9,10	1,70	23
	$\bar{x}$=5,53	$\bar{x}$= 9,43	$\bar{x}$= 3,90	$\bar{x}$= 80
	s=1,97	s= 3,23	s= 2,57	s= 63

Tabelle 4 : R_{aw} - und Abweichungswerte in $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ und %

Nr.	Sollwert	Raw vor Belastung	Abw. in %	Raw nach Belastung	Abw. in %	Differenz Abw.%
1	6,61	4,72	- 29	8,59	30	59
2	5,81	7,26	25	11,73	102	77
3	4,90	3,95	- 19	6,96	42	61
4	4,94	4,75	- 4	8,70	76	80
5	4,74	3,79	- 20	10,63	124	144
6	5,85	4,09	- 31	8,82	51	82
7	6,13	7,69	25	12,49	104	129
8	6,57	6,44	- 2	9,82	49	51
9	6,22	4,20	- 32	6,45	4	36
10	5,04	2,88	- 43	11,45	127	170
11	4,49	3,70	- 18	5,09	13	31
12	6,13	4,23	- 31	11,02	80	121
13	6,43	4,36	- 33	5,77	- 10	23
14	4,40	2,95	- 33	3,53	- 20	13
15	5,36	8,22	53	12,25	129	76
16	6,66	5,67	- 15	8,95	34	49
17	4,31	4,77	11	14,47	236	225
18	6,39	6,89	8	9,55	49	41
19	4,67	5,54	19	9,01	93	74
20	5,30	8,55	55	11,38	107	52
21	5,89	5,93	1	9,22	57	56
22	6,93	6,61	- 5	8,07	16	21
23	6,39	6,08	- 5	11,52	80	85
24	3,54	3,64	3	6,18	75	72
25	6,05	5,01	- 17	5,63	- 7	10
26	4,94	5,05	2	8,18	66	64
27	7,32	8,51	16	21,30	191	175
28	6,52	5,46	- 16	8,15	25	41
29	5,73	3,32	- 42	7,44	30	72
30	8,10	10,75	33	14,54	80	47
31	5,73	3,93	- 31	5,16	- 10	21
32	6,57	6,26	- 5	10,36	58	63
33	8,16	8,11	- 1	13,05	60	61
34	5,85	3,97	- 32	9,20	57	89
35	5,89	7,10	21	4,31	- 27	- 48
36	5,81	3,43	- 41	5,17	- 11	30
37	5,47	4,29	- 22	10,29	88	110
38	6,39	6,93	8	12,70	99	91
39	7,78	5,86	- 25	10,72	38	63
40	5,89	5,05	- 14	7,64	30	44
41	4,64	4,96	7	11,14	140	133
42	4,90	3,89	- 21	8,71	78	99
43	4,77	3,19	- 33	8,47	78	111
44	5,18	9,46	83	15,73	204	121
45	4,61	8,51	85	11,02	139	54
46	5,62	2,78	- 51	8,44	50	101
47	5,81	8,14	40	8,08	39	- 1
48	4,70	2,54	- 46	5,98	27	73
49	8,05	7,40	- 8	9,10	13	21
	$\bar{x}$=5,80	$\bar{x}$=5,53	$\bar{x}$= -4,69	$\bar{x}$=9,43	$\bar{x}$=65,06	$\bar{x}$=70,84
	s=1,03	s=1,97	s= 31,28	s=3,23	s=56,95	s=48,74

Tabelle 5 : R_{aw}-Sollwerte, sollwertbezogene R_{aw}-Abweichungen in cm $H_2O \cdot l^{-1}$ •sec und %

Es zeigt sich also in der Meßreihe eine deutliche bronchiale Reaktion. Der Höchstwert der prozentualen Veränderung liegt bei 298%. 14 Kinder haben eine über 100%ige Steigerung des R_{aw} . 20 Kinder liegen im Bereich von 50 - 100%iger Steigerung und 15 Kinder bleiben unter 50%. Davon liegen 2 mit 49% im Grenzbereich 2 haben eine Abnahme des R_{aw} zu verzeichnen. Die stärkste Abnahme liegt bei Kind Nr. 35 vor mit - 61%.
Nach dem 50% - Kriterium zeigen 34 Kinder eine positive Reaktion. Zählte nur die Resistance - Erhöhung als diagnostischer Parameter bei der bronchialen Allergenbelastung, dann würden 12 Kinder falsch negativ beurteilt. Für die Gruppe der letztendlich als pathologisch diagnostizierten Kinder von n= 46 bedeutete dies 26% Fehldiagnosen. Das bestätigt die von Hofmann und Geubelle(9) aufgezeigte Wichtigkeit der gleichzeitigen TGV - Bestimmung.
Die in der Tabelle 5 dargestellten Sollwertbezüge zeigen keine bedeutsame Veränderung. Die Sollwerte wurden nach der von Linn/Glasemann (25) gefundenen Formel berechnet:

$$R_{aw} = 40{,}54 \cdot e^{-0{,}013585252 \cdot \text{Körpergröße}}$$

SD = 23,3%

Die Leerwertmeßreihe liegt sogar mit x = 5,53 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ unter der Sollwertreihe mit x = 5,80 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$. Dafür ist die Streuung bei den Meßwerten mit SD = 35% gegenüber SD = 18% bei den Sollwerten größer. Insgesamt liegt die sollwertbezogene Veränderung bei 7o,84%, also niedriger als bei der nominalen Abweichung.

3.1.3 Der spezifische Atemwegswiderstand (SR_{aw})

Die Rechengröße der SR_{aw} als Produkt aus R_{aw} und TGV ist in Tabelle 6 dargestellt.

Hofmann (19) gibt eine 60%ige Steigerung der SR_{aw} als Schwellenwert für pathologische Reaktionen an.

Die Leerwertbestimmung ergibt einen Mittelwert von $\bar{x}$ = 10,51 cm H_2O • sec. Damit liegt die Meßwertereihe an der Obergrenze des Normalbereichs, der zwischen 3,11 und 10,61 cm H_2O angesiedelt ist (19).

Im Vergleich mit der Asthmagruppe von Linn/Glasemann (25) liegt unser Mittelwert im Bereich jener Messung. Ihr Durchschnitt ist $\bar{x}$ = 10,268 cm H_2O • sec. Die Standardabweichung ist allerdings in unserem Kollektiv mit SD = 48% weit höher als deren SD = 34%.

Nach Belastung steigt der Durchschnitt unseres Kollektivs auf $\bar{x}$ = 25,70 cm H_2O • sec mit einer Standardabweichung von 55%.

Die Durchschnittliche Abweichung vom Leerwert nach Allergenbelastung beträgt 152%. Damit ist einen erhebliche bronchiale Reaktion zu verzeichnen. Unter dem von Hofmann angegebenen Kriterium bleiben nur 6 Kinder im Rahmen der normalen Veränderung.

Der Höchstwert der Abweichung beträgt 494%. Nur ein Kind (Nr.35) reagiert mit einer Abnahme (-5%). 21 Kinder zeigen eine Steigerung von 100-200%. 11 Kinder steigern ihren SRaw sogar über 200%. 11 Kinder liegen bei Werten von 60 - 100%.

Nimmt man von den 6 Kindern ohne auffällige Veränderung die 3 heraus, die auch mit den anderen plethysmographischen Werten als unauffällig diagnostiziert wurden, dann wären nur 3 von 46 Kindern falsch negativ diagnostiziert worden, das heißt 7%.

Nr.	SRaw vor	SRaw nach	△SRaw	% Abweichung
1	7,90	21,08	13,18	167
2	17,51	39,64	22,13	126
3	11,20	26,74	15,54	139
4	10,93	23,98	13,05	119
5	8,33	28,93	20,60	247
6	6,49	21,86	15,37	237
7	12,19	33,84	21,65	178
8	7,53	15,36	7,83	104
9	6,97	16,86	9,89	142
10	7,61	42,63	35,02	460
11	9,08	12,35	3,27	36
12	8,40	27,56	19,16	228
13	5,32	10,34	5,02	94
14	6,61	10,79	4,18	63
15	18,97	32,97	14,00	74
16	8,87	13,89	5,02	57
17	12,11	71,91	59,80	494
18	8,76	14,86	6,10	70
19	15,22	33,38	18,16	119
20	9,34	30,71	21,37	229
21	9,58	25,55	15,97	167
22	6,87	12,67	5,80	84
23	10,33	30,71	20,38	197
24	15,85	30,50	14,65	92
25	3,92	7,89	1,97	33
26	11,59	22,69	11,10	96
27	14,91	61,89	46,98	315
28	6,89	16,46	9,57	139
29	5,16	12,68	7,52	146
30	14,92	24,78	9,86	66
31	6,90	18,36	11,46	166
32	12,30	25,30	13,00	106
33	7,87	15,82	7,95	101
34	8,25	23,73	15,48	188
35	19,59	18,59	- 1,00	- 5
36	5,28	10,11	4,83	91
37	9,27	26,51	17,24	186
38	10,78	19,34	8,56	79
39	6,13	16,27	10,14	165
40	8,86	16,42	7,56	85
41	12,98	42,52	29,54	228
42	7,33	23,32	15,99	218
43	8,99	34,16	25,17	280
44	24,71	68,67	43,96	178
45	30,04	45,37	15,33	51
46	5,44	19,45	14,01	258
47	14,14	28,73	14,59	103
48	6,37	18,67	12,30	193
49	8,56	12,30	3,74	44
	$\bar{x}$= 10,51	$\bar{x}$=25,70	$\bar{x}$=14,88	$\bar{x}$=151,69
	s = 5,06	s=14,14	s=11,81	s= 96,34

Tabelle 6 : SR_{aw}- und Abweichungswerte in cm H_2O • sec und %

3.1.4 Der Realteil der oszillatorischen Impedanz (R_{ez})

Für die oszillatorische Atemwiderstandsmessung liegen bisher keine Erfahrungen über ihren Einsatz bei bronchialen Allergenbelastungstests mit Kindern vor. Thiel und Fuchs (28) berichten über Untersuchungen an erwachsenen Probanden. Sie geben eine 75 - 100%ige Steigerung des oszillatorischen Widerstandes als signifikanten Wert an.

Für die Kinderheilkunde formulieren Hofmann et al. (6) ein 25% - Schwellenkriterium, innerhalb dessen die normale Spontanvariation von R_{ez} liegt. Wird diese Schwelle überschritten, dann ist zu fragen, ob damit schon eine bedeutsame bronchiale Reaktion auf die Allergentestung vorliegt, oder ob der Schwellenwert weit höher anzusiedeln ist, wie Thiel/Fuchs (28) berichten. Dabei muß beachtet werden, daß Kinder auf einem höheren Meßniveau liegen als Erwachsene und eine höhere Abweichung bei ihnen in einen Bereich ungenauerer Auswertung der Diagrammaufzeichnung führt.

Tabelle 7 zeigt die Veränderungen des R_{ez} bei Histaminbelastung. Die Reihe der Meßwerte vor Belastung hat einen durchschnittlichen Wert von $\bar{x}$= 7,14 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$. Die Streuung mit SD = 29%, absolut SD = 2,08 liegt im Bereich der Berechnungen von Hofmann et al. (6), die eine doppelte Standardabweichung von 4,2 angeben für die Normalwertberechnung.

Der schon relativ hohe Ausgangswert verdeutlicht noch einmal, daß die vom Anzeigeinstrument widergegebene R_{os} für die Kinderheilkunde und speziell für die Allergenbelastungstests in diesem Bereich einen nur begrenzten Aussagewert hat. Die von Korn et al.(4) angegebene Begrenzung auf einen Meßbereich bis 10 cm $H_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ wird von 5 Kindern schon bei der Leerwertbestimmung der R_{ez} erreicht. Auch für den oszillatorischen Atemwider-

Nr.	Rez vor Belastung	Rez nach Belastung	ΔR_{ez}	%Abweichung
1	8,92	14,09	5,17	58
2	14,32	17,50	3,18	22
3	7,67	6,61	- 1,06	- 14
4	6,75	11,86	5,11	76
5	4,47	10,97	6,50	145
6	7,67	13,65	5,98	78
7	8,82	10,30	1,48	17
8	8,89	14,70	5,81	65
9	5,62	9,98	4,36	76
10	5,71	14,59	8,88	156
11	3,89	7,00	3,11	80
12	6,69	12,95	6,26	94
13	7,66	10,00	2,34	45
14	5,00	6,78	1,78	36
15	10,00	14,67	4,67	47
16	7,57	9,27	1,70	22
17	6,50	9,55	3,05	47
18	6,57	10,00	3,43	52
19	7,00	9,25	2,25	32
20	8,82	12,70	3,88	44
21	6,50	14,36	7,86	121
22	5,50	9,45	3,95	72
23	5,89	7,00	1,11	19
24	5,78	6,90	1,12	19
25	5,00	9,27	4,27	85
26	6,42	6,57	0,15	3
27	10,00	15,00	5,00	50
28	6,23	11,79	5,56	89
29	5,44	6,63	1,19	22
30	10,86	25,00	14,14	130
31	7,00	9,83	2,83	40
32	7,26	12,43	5,17	71
33	9,83	12,44	2,61	27
34	5,60	9,54	3,94	70
35	7,66	10,00	2,34	30
36	5,00	8,83	3,83	77
37	4,13	9,46	5,33	129
38	7,18	10,00	2,82	39
39	10,00	14,62	4,62	46
40	6,44	9,60	3,16	49
41	6,22	9,33	3,11	50
42	8,51	11,08	2,57	30
43	3,00	8,92	5,92	197
44	9,89	15,00	5,11	52
45	7,00	9,83	2,83	40
46	6,45	10,00	3,55	55
47	9,06	16,11	7,05	78
48	4,82	7,35	2,53	56
49	8,45	12,05	3,60	43
	$\bar{x}$= 7,14	$\bar{x}$= 11,06	$\bar{x}$= 3,98	$\bar{x}$= 61
	s= 2,08	s= 3,50	s= 2,46	s= 41

Tabelle 7 : R_{ez} - und Abweichungswerte in cm $H_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ und %

Nr.	Sollwert	R_{ez} vor Belastung	Abw. in %	R_{ez} nach Belastung	Abw. in %	Differenz Abw.%
1	6,61	8,92	35	14,09	113	78
2	5,69	14,32	152	17,50	208	56
3	4,47	7,67	72	6,61	48	- 24
4	4,52	6,75	49	11,86	162	113
5	4,23	4,47	6	10,97	159	153
6	5,74	7,67	34	13,65	138	104
7	6,08	8,82	45	10,30	69	24
8	6,56	8,89	36	14,70	124	88
9	6,17	5,62	- 9	9,98	62	71
10	4,67	5,71	22	14,59	212	190
11	3,85	3,89	1	7,00	82	81
12	6,07	6,69	10	12,95	113	103
13	6,41	7,66	20	10,00	56	36
14	3,70	5,00	35	6,78	83	48
15	5,03	10,00	99	14,67	192	93
16	6,75	7,57	12	9,27	37	25
17	3,55	6,50	83	9,53	168	85
18	6,36	6,57	3	10,00	57	54
19	4,13	7,00	69	9,25	124	55
20	5,30	8,82	66	12,70	140	74
21	5,78	6,50	12	14,36	148	136
22	6,95	5,50	- 21	9,45	36	57
23	6,36	5,89	- 7	7,00	10	17
24	2,14	5,78	170	6,90	222	52
25	5,98	5,00	- 16	9,27	55	71
26	4,52	6,42	42	6,57	45	3
27	7,33	10,00	36	15,00	105	68
28	6,51	6,23	- 4	11,79	81	85
29	5,59	5,44	- 3	6,63	19	22
30	8,06	10,86	35	25,00	210	175
31	5,59	7,00	25	9,83	76	51
32	6,56	7,26	11	12,43	89	78
33	8,11	9,83	21	12,44	53	32
34	5,73	5,60	- 2	9,54	66	68
35	5,78	7,66	33	10,00	73	40
36	5,69	5,00	- 12	8,83	55	67
37	5,25	4,13	- 21	9,46	80	101
38	6,36	7,18	13	10,00	57	44
39	7,77	10,00	29	14,62	88	59
40	5,78	6,44	11	9,60	66	55
41	4,09	6,22	52	9,33	128	76
42	4,47	8,51	90	11,08	148	58
43	4,28	3,00	- 30	8,92	108	138
44	4,86	9,89	104	15,00	209	105
45	4,04	7,00	73	9,83	143	70
46	5,44	6,45	19	10,00	84	65
47	5,69	9,06	59	16,11	183	124
48	4,18	4,82	15	7,35	76	61
49	8,01	8,45	5	12,05	50	45
	$\bar{x}$=5,56	$\bar{x}$=7,14	$\bar{x}$= 32	$\bar{x}$=11,06	$\bar{x}$=103	$\bar{x}$= 72
	s=1,27	s=2,08	s= 41	s= 3,50	s= 57	s= 40

Tabelle 8 : R_{ez}-Sollwerte, sollwertbezogene R_{ez}-Abweichungen in cm $H_2O \cdot l^{-1} \cdot$ sec und %

stand bei Kindern gilt die umgekehrt proportionale Abhängigkeit von der Körpergröße, wie Hofmann et al. (6) gezeigt haben.
Die Meßreihe nach bronchialer Histaminbelastung hat einen mittleren Wert von $\overline{x}$ = 11,06 cm $H_2O \cdot l^{-1} \cdot$ sec. Die Streuung mit SD = 32% ist nur geringfügig stärker geworden als vor Belastung. Das Kind mit der geringsten Körpergröße (Nr.30) erreicht mit 25 cm $H_2O \cdot l^{-1} \cdot$ sec den höchsten Wert, wie bei der R_{aw} - Messung.
Die Abweichung ($\triangle R_{ez}$) beträgt im Mittel 61%. Nach dem 25% - Kriterium hat also eine bedeutsame Steigerung des oszillatorischen Atemwiderstandes stattgefunden.
Die starke Streuung der Abweichungswerte von SD = 41 entsprechend 62% weist auf individuelle Reaktionsmuster der R_{ez} - Erhöhung bei obstruktiver Bronchialreaktion. Die prozentuale Abweichung hat eine Spannbreite von -14% bis +197%. Nur 6 Kinder reagieren mit einer über 100%igen Steigerung. Weiterhin liegen nur 14 Kinder über 75%. Damit wird das Kriterium von Thiel/Fuchs als für den Bereich der Kinderheilkunde zu hoch gegriffen in Frage gestellt. Nur 20 Kinder wären diagnostiziert worden gegenüber den 46 positiven Befunden mit dem Plethysmographen.
26 Kinder zeigen eine Steigerung über 50% und 41 Kinder von 25% und mehr. Mit diesem letzteren von Hofmann et al. (6) angegebenen Kriterium würde also die höchste Trefferquote erreicht. Dabei werden 8 Kinder nicht auffällig, die aber nach plethysmographischer Messung als positiv befundet wurden. Das ergäbe 8 falsch negative Diagnosen von n = 49, entsprechend 16%.
Die 3 Kinder, die plethysmographisch unauffällig waren, liegen mit der oszillatorischen Resistance mit Steigerungen zwischen 43% und 85% im pathologischen Bereich. Es würden also 3 falsch positive Befunde bei n = 49 gefunden.
Damit entstände eine erhebliche Unsicherheit beim Ein-

satz der oszillatorischen Messung im bronchialen Allergenbelastungtest, wenn nicht die Phasenwinkelmessung eine ausreichende diagnostische Ergänzung darstellt. Setzte man das Kriterium höher an, gäbe es noch mehr falsch negative Befunde. Bliebe man bei dem 25% - Kriterium, müßte man mit ca 16% falsch negativen und ca 6% falsch positiven Befunden rechnen.
Die in Tabelle 8 dargestellten Sollwerte wurden nach der von Hofmann et al (6) angegebenen Formel errechnet:

$$R_{ez} = 19{,}56 - (0{,}097 \cdot KG_{cm}) \pm 4{,}2 \text{ (2SD)}$$

Dabei wurde der mittlere Wert als Referenzwert genommen. Bezieht man die Leerwertmessung von R_{ez} auf die Sollwerte,dann zeigt sich im Mittel eine 32%ige Erhöhung über dem Sollwertniveau. Da aber von einer breiten Streuung in der Normalwertegruppe auszugehen ist, liegen mit Ausnahme von Nr.2 und Nr.15 alle Meßwerte im Normbereich. Nach Belastung zeigt sich eine leichte Erhöhung der sollwertbezogenen Abweichung $\bar{x}$ = 72% gegenüber $\bar{x}$ = 61% bei der nominalen Abweichung.
Es läßt sich keine Steigerung des Informationswertes durch die sollwertbezogenen Zahlen erkennen.

3.1.5 Der Phasenwinkel φ

Über den Phasenwinkel wurden bisher wenige Ergebnisse mitgeteilt. Bölcskei (29) berichtete, daß bei niedrigen Resistancewerten der Phasenwinkel meist zwischen $\pm$ 0 und +30° liegt und bei hohen Widerstandswerten häufig negative Phasenwinkel bis -40° auftreten.
Korte (30) kommt zu der allgemeinen Aussage, daß bei negativem Phasenwinkel immer gleichzeitig andere Hinweise auf eine Lungenfunktionstörung vorhanden sind.
Haseneiner (31) gibt an, daß der Phasenwinkel bei Gesunden im positiven Bereich liegt und bei Fibrosepatienten ein negativer Wert um -20° gefunden wird.
Alle Ergebnisse wurden bei Untersuchungen an Erwachsenen formuliert.
Für Kinder stellten Hofmann et al. (6) in vorläufiger Begrenzung einen Normbereich bis -15° fest. Damit muß die von Korte gemachte Aussage für Untersuchungen an Kindern eingeschränkt werden.
In unserer Untersuchung fanden wir vor Histaminbelastung einen durchschnittlichen Phasenwinkel von -7,4°, was ebenfalls für eine differenziertere Formulierung des Normbereichs bei Kindern spricht. Die Streuung ist mit SD = 6,1 sehr groß. Korte (30) gibt für seine Normalgruppe sogar eine Streuung von SD = $\pm$ 8,7° an.
39 Kinder hatten bereits vor Belastung einen negativen Phasenwinkel. Bei den gegenüber Erwachsenen allgemein höher liegenden Widerstandswerten bei Kindern läßt sich das mit der von Bölcskei(29) getroffenen Feststellung erklären.
Von den Kindern mit negativen Phasenwinkeln liegen 6 bei -15°oder negativer, sind also schon vor Belastung auffällig. Diese Kinder zeigen keinen besonders hohen Widerstand vor Belastung. Der stark negative Phasen-

Nr.	φ vor	φ nach	$\Delta\varphi$
1	+ 4	- 5	- 9
2	- 15	- 36	- 21
3	+ 3	- 18	- 21
4	- 9	- 12	- 3
5	- 1	- 31	- 30
6	- 12	- 18	- 6
7	- 7	- 18	- 11
8	0	- 10	- 10
9	+ 2	- 12	- 14
10	- 5	- 12	- 7
11	- 4	- 8	- 4
12	- 7	- 20	- 13
13	0	- 3	- 3
14	- 5	- 18	- 13
15	- 6	- 3	+ 3
16	- 7	- 10	- 3
17	- 9	- 30	- 21
18	+ 2	- 10	- 12
19	- 21	- 34	- 13
20	- 5	- 18	- 13
21	- 17	- 33	- 16
22	- 5	- 10	- 5
23	- 18	- 20	- 2
24	- 13	- 21	- 8
25	- 8	- 10	- 2
26	0	- 13	- 13
27	- 13	- 30	- 17
28	- 10	- 25	- 15
29	- 8	- 14	- 6
30	- 10	- 27	- 17
31	- 2	- 13	- 11
32	- 9	- 14	- 5
33	- 17	- 24	- 7
34	- 13	- 11	+ 2
35	- 5	- 20	- 15
36	- 6	- 14	- 8
37	+ 5	- 10	- 15
38	- 11	- 23	- 12
39	- 3	- 19	- 16
40	- 6	- 28	- 22
41	- 15	- 32	- 7
42	- 1	- 17	- 16
43	0	- 19	- 19
44	- 11	- 30	- 19
45	- 10	- 21	- 11
46	- 8	- 18	- 10
47	- 1	- 36	- 35
48	0	- 13	- 13
49	- 10	- 18	- 8
	$\bar{x}$= - 7,4	$\bar{x}$=-18,6	$\bar{x}$= -11,8
	s= 6,1	s= 8,7	s= 7,3

Tabelle 9 : Phasenwinkel - und Abweichungswerte in Grad

winkel scheint also nur in einer lockeren Beziehung zu der Resistance zu stehen. 10 Kinder hatten Phasenwinkel von ± 0 oder positiv bis +5°.
Nach Histaminprovokation lag der Phasenwinkel im Mittel bei -18,6° mit einer Streuung von SD = ± 8,7. Es hat eine deutliche Negativierung stattgefunden und der Bereich von -15° ist überschritten. Dem geht einher, daß auch der Widerstandswert bedeutend zugenommen hat. 29 Kinder zeigen einen Wert von -15° und negativer. Der geringste Wert liegt bei -3°. Alle Kinder sind somit im negativen Bereich. Die Kinder Nr. 11 und 25, die plethysmographisch als negativ befundet sind, zeigen auch beim Phasenwinkel einen negativen Befund. Das Kind Nr. 49, das ebenfalls plethysmographisch unauffällig ist, liegt mit -18° leicht außerhalb des Normbereichs. Es hat eine Negativierung von -8° erfahren. Der mittlere Wert der Negativierung des Phasenwinkels im Verlauf der Histaminprovokation liegt mit $\bar{x}$ = -11,8° um einiges höher.
Insgesamt zeigen 29 Kinder einen auffälligen Phasenwinkel, wobei eine falschpositive Diagnose eingeschlossen ist. Bei insgesamt 49 Probanden werden 15 nicht auffällig, die aber mit der plethysmographischen Messung positiv befundet sind. Dieser Zahlenvergleich läßt zweifeln, ob der Phasenwinkel als eigenständiger Parameter für bronchiale Belastungstests dienen kann.

3.1.6 Die Befundung der bronchialen Histaminbelastungstests im Versuchskollektiv

Die plethysmographisch gewonnenen Werte haben keine einheitliche Tendenz. Wie Tabelle 10 zeigt sind nur 16 von 49 Kindern mit allen 3 Parametern (TGV, R_{aw}, SR_{aw}) positiv befundet. 24 Kinder reagieren nur mit 2 Parametern. Bei 6 Kindern ist nur ein Meßwert auffällig, davon reagieren 4 nur mit der SR_{aw}, 1 nur mit dem TGV und 1 mit der R_{aw} alleine. Dieses Ergebnis kann als Bestätigung gesehen werden dafür, daß obstruktive Reaktionen atemmechanisch nicht einheitlich sind. Die alleinige Bestimmung der R_{aw} ergäbe einen großen Informationsverlust. Nur 34 Kinder wären auffällig. Nimmt man TGV und SR_{aw} als eigenständige Indikatoren einer Bronchialobstruktion, dann sind 46 Kinder in ihrer Antwort auf die Histaminbelastung als pathologisch zu werten.
Als besonders sensibler Parameter erweist sich SR_{aw} mit 44 positiven Befunden von insggesamt 46 plethysmographisch positiv befundeten Probanden.
Die Methode der ganzkörperplethysmographischen Messung der Funktionswerte der Atemmechanik ist genügend standardisiert um als Bezugsrahmen dienen zu können.
Im Bezug darauf zeigen die Parameter der Oszillationsmethode ein teilweise gleichlaufendes, teilweise abweichendes Verhalten. Insgesamt sind unter den 25%- Kriterium für die R_{ez} und der -15°- Grenze für den Phasenwinkel 23 Kinder mit beiden Werten auffällig, wie Tabelle 10 zeigt. Weitere 23 Kinder sind entweder mit R_{ez} oder φ außerhalb des Normbereichs. Nur 3 Kinder zeigen weder mit R_{ez} noch mit φ eine bedeutende Reaktion.
In der näheren Betrachtung sind nur 26 der positiven Befunde von R_{ez} mit den 34 positiven Befunden von R_{aw} gleichlaufend. Die restlichen 8 positiven R_{aw}-Befunde haben kei-

Tabelle 10 : Befundung der bronchialen Histaminbelastung

Nr.	R_{aw}	TGV	SR_{aw}	R_{ez}	φ
1	+	+	+	+	-
2	+	+	+	-	+
3	+	+	+	-	+
4	+	-	+	+	-
5	+	-	+	+	+
6	+	-	+	+	+
7	+	+	+	-	+
8	+	+	+	+	-
9	+	+	+	+	-
10	+	+	+	+	-
11	-	-	-	+	-
12	+	-	+	+	+
13	-	+	+	+	-
14	-	+	+	+	+
15	-	-	+	+	-
16	+	-	-	-	-
17	+	+	+	+	+
18	-	-	+	+	-
19	+	+	+	+	+
20	-	+	+	+	+
21	+	+	+	+	+
22	-	+	+	+	-
23	+	+	+	-	+
24	+	-	+	-	+
25	-	-	-	+	-
26	+	-	+	-	-
27	+	-	+	+	+
28	-	+	+	+	+
29	+	-	+	-	-
30	-	-	+	+	-
31	-	+	+	+	-
32	+	-	+	+	-
33	+	-	+	+	+
34	+	-	+	+	-
35	-	+	-	+	+
36	+	-	+	+	-
37	+	-	+	+	-
38	+	-	+	+	+
39	+	+	+	+	+
40	+	-	+	+	+
41	+	+	+	+	+
42	+	+	+	+	+
43	+	+	+	+	+
44	+	+	+	+	+
45	-	-	+	+	+
46	+	-	+	+	+
47	-	+	+	+	+
48	+	-	+	+	-
49	-	-	-	+	+

+ = positiver Befund - = negativer Befund

ne Entsprechung in dem R_{ez}, obwohl insgesamt 41 Kinder mit R_{ez} auffällig reagieren. Dieses Ergebnis läßt sich vergleichen mit der von Baur et al. (32) an Erwachsenen gewonnen Aussage, daß die Oszillationsmethode bei Verwendung in Provokationstests nur in 80% Übereinstimmung mit der Ganzkörperplethysmographie zeige. Diese Aussage beziehen sie auf die Widerstandsmessung.
5 Kinder reagieren nur mit dem Phasenwinkel sind aber plethysmographisch mit R_{aw} und SR_{aw} positiv. Damit wird der Phasenwinkel als diagnostischer Indikator interessant.
Auf die falsch positive Befundung der plethysmographisch unauffälligen Kinder (Nr. 11, 25, 49) wurde schon hingewiesen. Daneben zeigen sich 3 falsch negative Befunde (Nr. 16, 26, 29) bei der Oszillationsmethode im Vergleich zum Ganzkörperplethysmographen. Diese insgesamt 6 = 12% falschen Befunde lassen zweifeln, ob die Oszillationsmethode die plethysmographische Messung bei bronchialer Allergentestung von Kindern ersetzen kann.

3.2 Die Korrelationen

3.2.1 Die Beziehung von R_{ez} und R_{aw}

Bisher liegen verschiedene Aussagen über eine Korrelation zwischen dem oszillatorischen Widerstandswert R_{os}, der nur im Resonanzfall mit der R_{ez} identisch ist, und dem plethysmographisch gemessenen Atemwegswiderstand R_{aw} vor (32, 33,34). Alle Autoren konstatieren eine Beziehung zwischen R_{os} und R_{aw}. Sie sehen diese aber begrenzt, so daß die alternative Verwendung der oszillatorischen Meßmethode für die Plethysmographie nur mit Einschränkung bejaht wird. Dabei wird entweder empfohlen, die Oszillationsmethode in Kombination mit einem anderen Meßverfahren, der Spirometrie, einzusetzen (28, 34),oder sie nur zur Schnellorientierung (33) oder zum Screening in der Praxis (32) einzusetzen und die letztendlich genaue Diagnostik mit dem Ganzkörperplethysmographen durchzuführen.

Für die Kinderheilkunde wird von Berdel et al.(35) gerade die Ersetzbarkeit des Plethysmographen durch das Oszillationsverfahren bejaht. Auch sie arbeiten mit dem von dem Anzeigeinstrument abgelesenen R_{os} , dessen Einsatz die Durchführung unserer Untersuchung in Frage gestellt hätte. Sie teilen für eine Untersuchungsgruppe von 78 Kindern einen Korrelationskoeffizienten von r=0,84 mit für die Beziehung des R_{os} zum R_{aw}. Einen Allergenbelastungstest führten sie allerdings nicht durch.

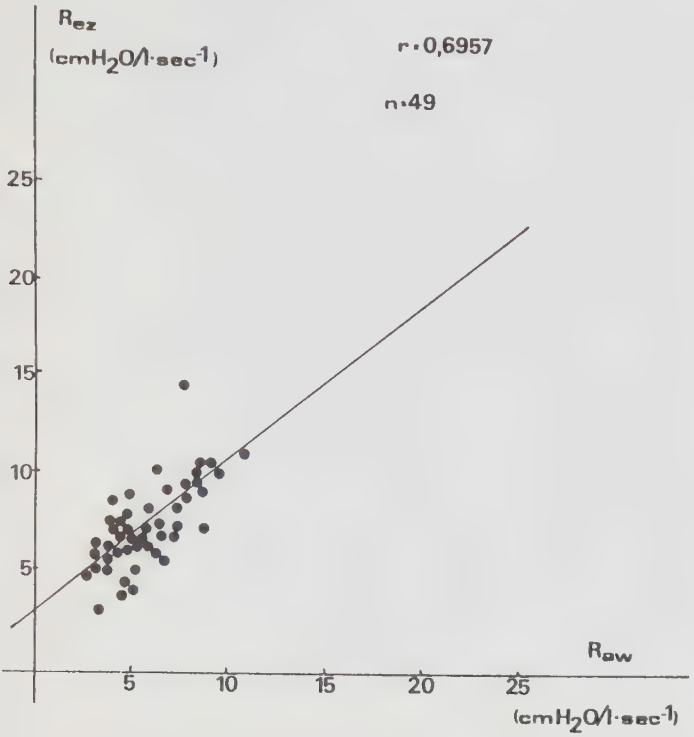
Für unser Versuchskollektiv (n=49) liegt der Korrelationskoeffizient vor Belastung nicht so hoch mit r= 0,6957. Wie Abbildung 10 zeigt liegen die Werte dicht gruppiert um die Regressionsgerade. Diese hat die Funktion

$y = 0{,}7324\ x + 3{,}0885$.

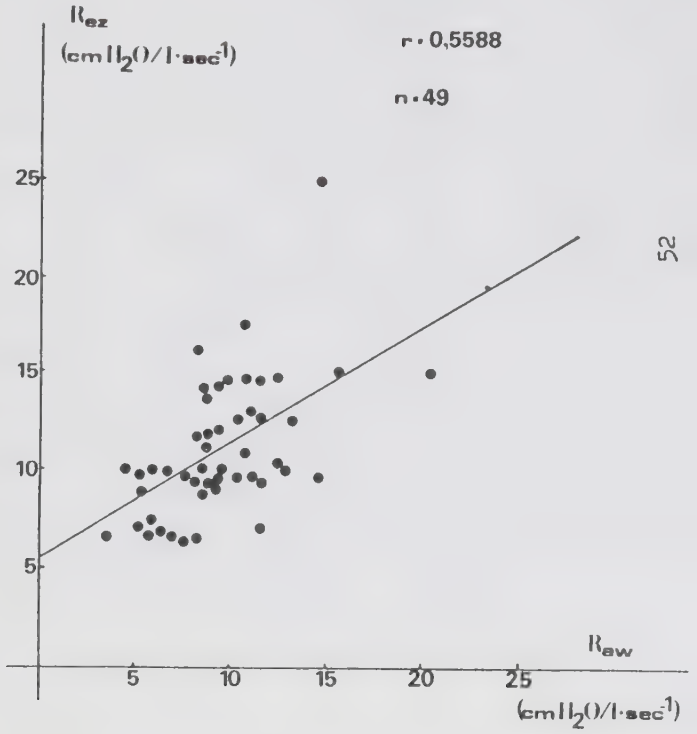
Nach Belastung nimmt der Korrelationskoeffizient bedeu-

Abbildung 10

R_{ez} : R_{aw} vor Belastung



R_{ez} : R_{aw} nach Belastung



tend ab mit einem Wert von r = 0,5588. Die Meßwerte liegen jetzt insgesamt auf einem höheren Niveau und streuen weiter um die Regressionsgerade. Deren Funktion ist $y = 0{,}5955x + 5{,}4479$.

Die Verringerung des Korrelationskoeffizienten nach Histamintestung bestätigt noch einmal den bei der Befundung gewonnenen Eindruck, daß die oszillatorische Widerstandsmessung die plethysmographische im bronchialen Allergenbelastungstest nicht ersetzen kann.

Über dieses Ergebnis lassen sich zwei verschiedene Annahmen formulieren :

1. Die Beziehung zwischen R_{ez} und R_{aw} werden nach Belastung ungenauer, weil bei höheren Widerstandswerten der R_{ez} ein anderes Verhalten zeigt als R_{aw}. Die Meßmethode liefert dann die Begründung. Insbesondere wird R_{ez} in höheren Meßbereichen nur noch recht ungenau ermittelt.
2. Bei obstruktivem Geschehen an der Lunge können verschiedene Meßbereiche im Bronchialbaum betroffen sein. Damit könnte die unterschiedlich starke Veränderung der Parameter der ganzkörperplethysmographischen Messung erklärt werden. Eine einheitliche Repräsentation im oszillatorischen Widerstandswert wäre dafür fraglich.

3.2.2 Die Beziehung von R_{ez} und TGV

In der theoretischen Formulierung der oszillatorischen Meßmethode steckt kein direkter Bezug zwischen der oszillatorischen Resistance und dem TGV. So findet denn auch der Vergleich beider Parameter in den meisten Untersuchungen überhaupt keinen Platz.
Baur et al. (32) teilen einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,15$ mit für den Vergleich R_{os} zu TGV.
In unserer Untersuchung ist die Korrelation noch geringer : R_{ez} zu TGV vor Belastung $r = 0,0877$; nach Belastung ist $r = -0,0900$.
Bei der diffusen Streuung der Werte (Abbildung 11) verzichteten wir auf die Konstruktion von Regressionsgeraden. Es deutet nicht auf eine sinnvolle Beziehung zwischen R_{ez} und TGV hin.

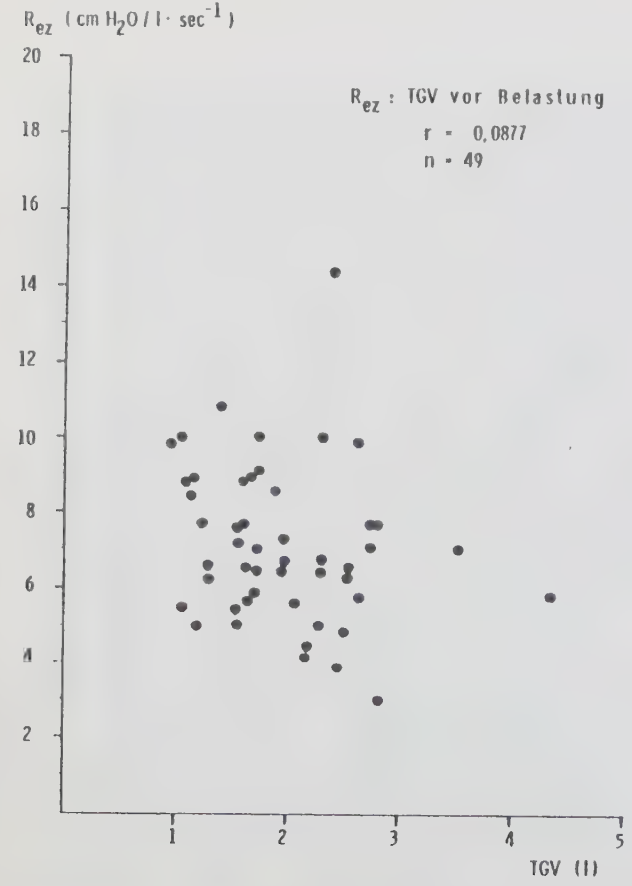
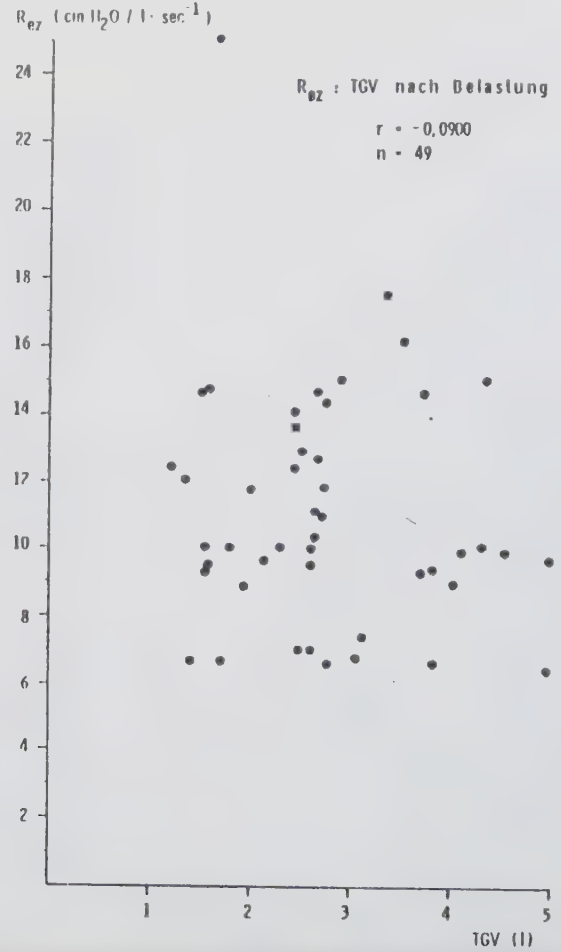


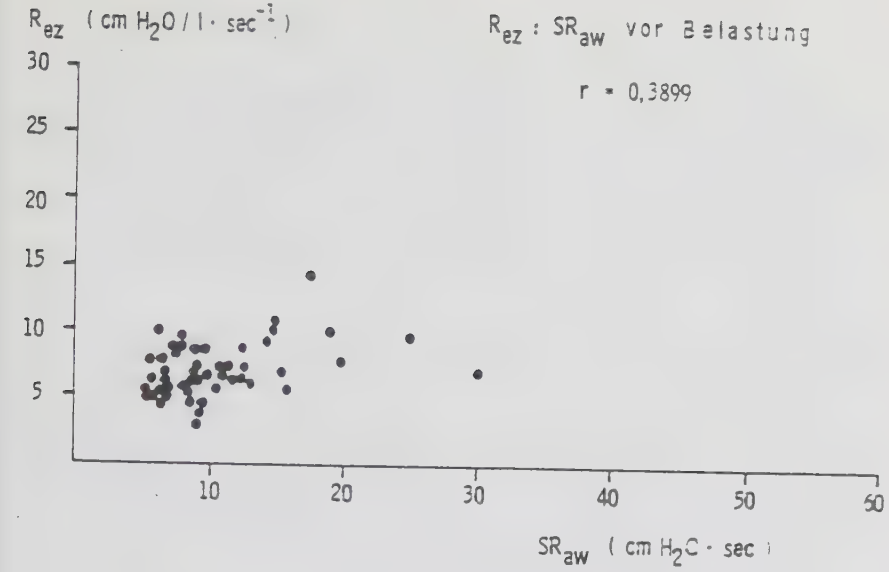
Abbildung 11

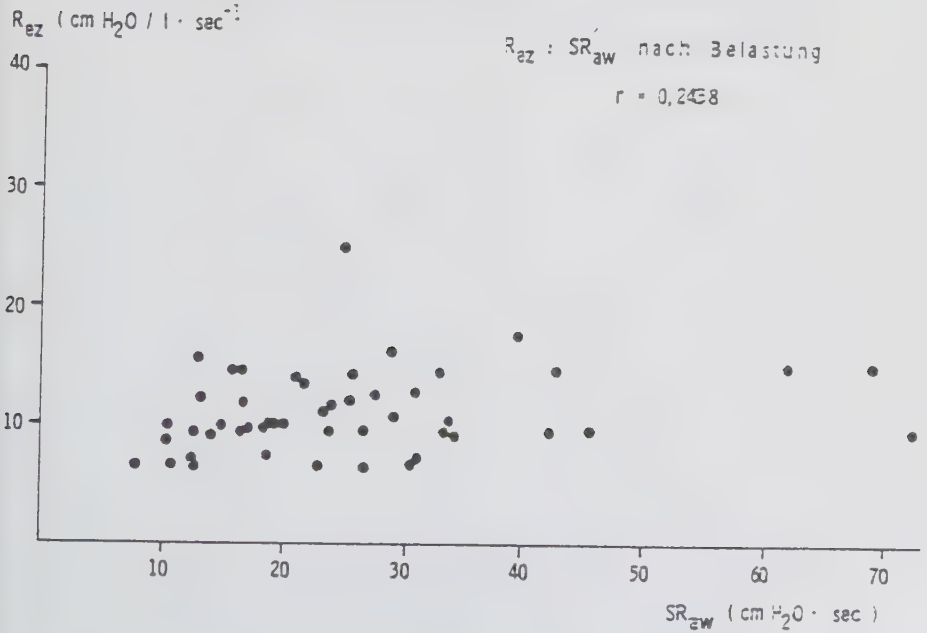


3.2.3 Die Beziehungen zwischen R_{ez} und SR_{aw}

Die SR_{aw} ist eine von der R_{aw} rechnerisch abgeleitete Größe und läßt von daher einen Bezug zur oszillatorischen Resistance erwarten.
Baur et al. (32) berichten von einer Korrelation, die allerdings schlechter sei als die zwischen R_{os} und plethysmographisch gemessener Resistance. Sie machen darüber keine zahlenmäßigen Angaben.
In unserer Untersuchung fanden wir vor Belastung einen Korrelationskoeffizienten von r = 0,3899. Nach Belastung verringert sich der Korrelationskoeffizient auf r= 0,2348. In der Tendenz können wir die Aussage von Baur et al. bestätigen. Die Korrelationskoeffizienten sind zu niedrig um eine sinnvolle Beziehung zwischen R_{ez} und SR_{aw} zu beschreiben. Allerdings ist auf die Tendenz zur Abnahme der Beziehung nach Belastung hinzuweisen, wie sie schon bei der Beziehung R_{ez} zu R_{aw} auftrat.
Wie Abbildung 12 zeigt, haben wir es vor Belastung mit einer Punktwolke in der graphischen Darstellung zu tun. Nach Belastung ist die Streuung weit diffuser. Die Konstruktion der Regressionsgeraden erschien uns nicht sinnvoll bei diesem Bild und den dazugehörigen Korrelationskoeffizienten.

Abbildung 12

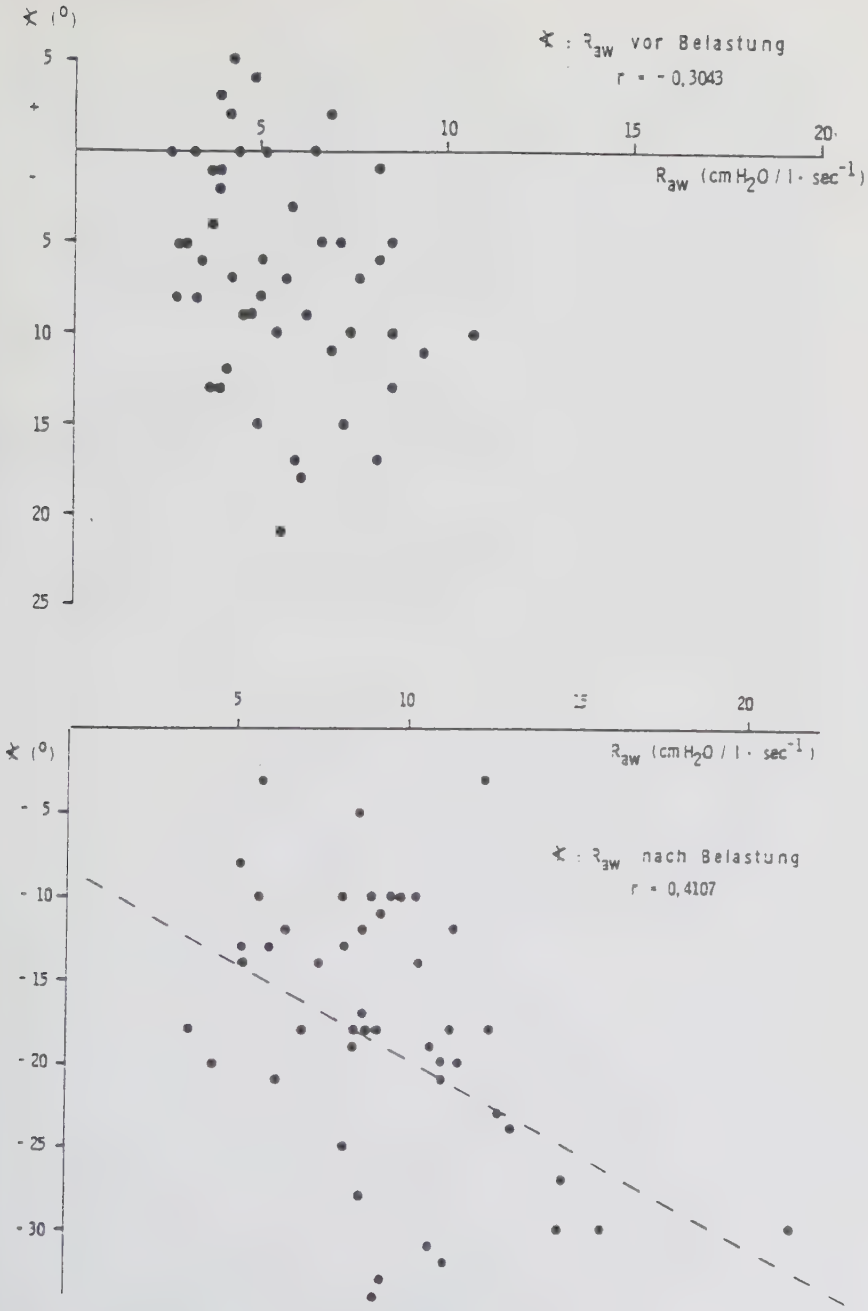




3.2.4 Die Beziehung von Phasenwinkel und Atemwegswiderstand

Abbildung 13 zeigt die Korrelation zwischen φ und R_{aw} vor und nach Belastung. Vor Belastung besteht eine geringe Beziehung mit r = -0,3043. Korte (30) berichtet von seiner Untersuchung an Erwachsenen ein ähnliches Ergebnis. Sein Korrelationskoeffizient ist r = -0,31. Für die Meßwertegruppe ergibt ergibt sich eine diffuse Streuung.
Nach bronchialer Histaminbelastung wird der Korrelationskoeffizient besser mit r = -0,4107. Auch zeigt die Meßwerteverteilung eher eine Tendenz. Die Gleichung für die Regressionsgerade nach Belastung ist y = -1,1008x -8,17. Die Korrelationskoeffizienten bleiben aber in einem zu niedrigen Bereich um eine eindeutige Abhängigkeit von φ und R_{aw} mathematisch angeben zu können.
Die Beobachtung von Bölcskei (29), daß mit erhöhter Resistance der Phasenwinkel negativer wird, findet aber in dieser Allgemeinheit in unserer Untersuchung ihre volle Bestätigung.

Abbildung 13



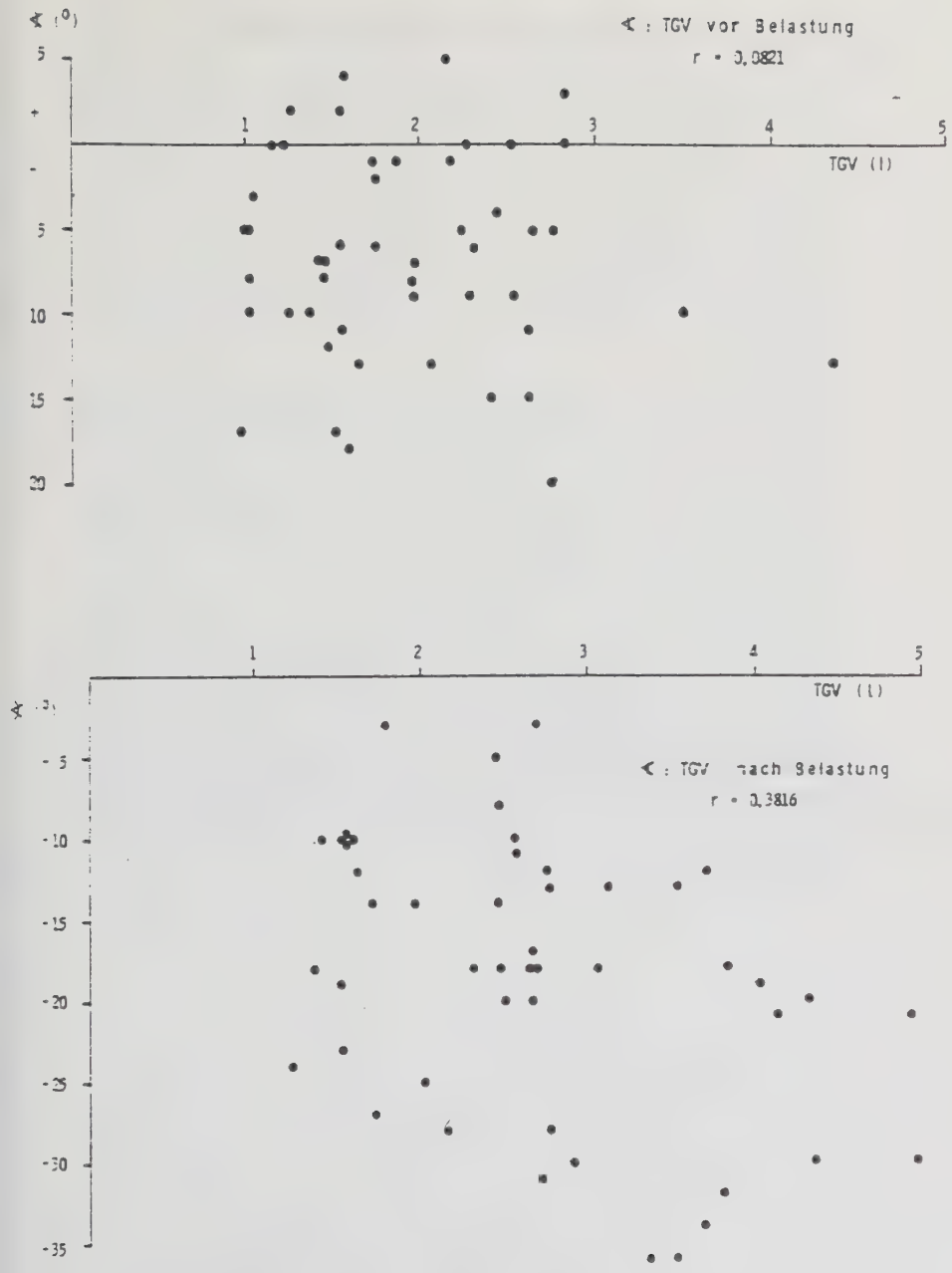
3.2.5 Die Beziehung von Phasenwinkel und TGV

Korte (30)) gibt für seine Untersuchung eine positive Korrelation von φ zu TGV an, die aber mit r = 0,15 unbedeutend gering ist.

In unserer Untersuchung zeigt Abbildung 14 die Beziehung von φ zu TGV vor und nach Belastung. Der Korrelationskoeffizient vor Belastung ist im Bereich von Kortes Untersuchung mit r = 0,0821. Die Meßwerte sind breit gestreut.

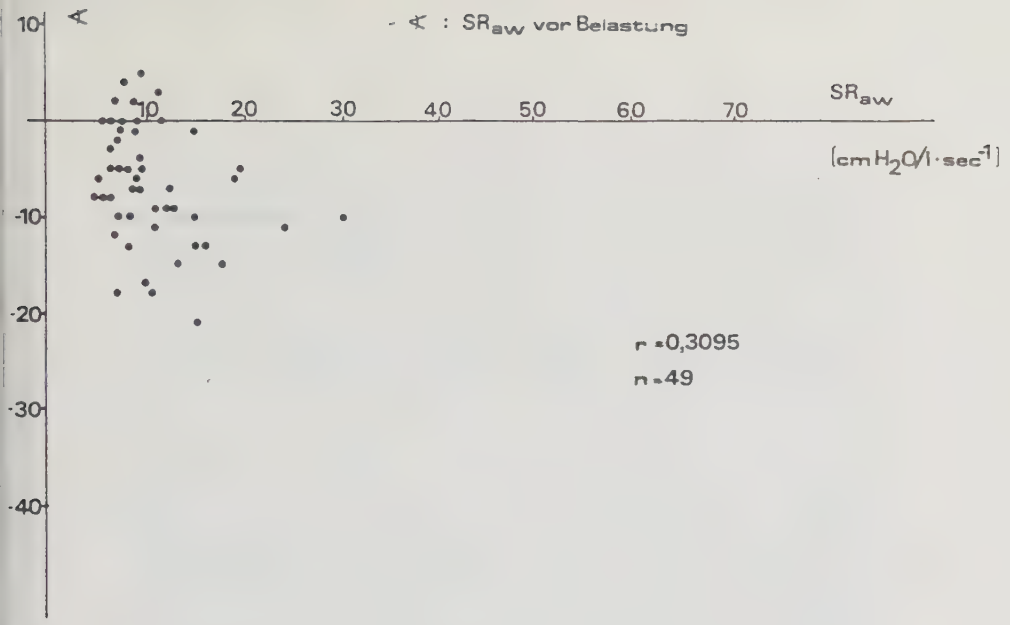
Nach Belastung wird der Korrelationskoeffizient deutlich größer mit r = -0,3816. Nur bleibt er in einem unbedeutenden Bereich. Die Streuung ist weiterhin diffus und breit. Da nach Belastung das thorakale Gasvolumen angestiegen ist, läßt sich eine leichte Beziehung zwischen Phasenwinkelnegativierung und TGV - Erhöhung konstatieren. Eine eindeutige Zuordnung bestimmter Phasenwinkelwerte zu bestimmten TGV - Werten kann aber nicht getroffen werden.

Abbildung 14



3.2.6 Die Beziehung von Phasenwinkel und SR_{aw}

Da es sich bei der spezifischen Resistance um eine Widerstandsgröße handelt, ist der von Bölcskei (29) berichtete Zusammenhang von hohen Widerstandswerten und negativen Phasenwinkelwerten auch hier zu erwarten.
Abbildung 15 zeigt die Beziehung von φ zu SR_{aw} vor und nach Belastung. Vor Belastung liegen die Meßwerte in einer Punktwolke mit keiner eindeutigen Richtung. Der Korrelationskoeffizient ist $r = -0,3095$ und damit unbedeutend gering.
Nach Belastung wird die Streuung breiter. Es zeigt sich allerdings eine Tendenz. Der Korrelationskoeffizient ist $r = -0,5083$ und damit zeigt sich eine deutliche Beziehung. Die Regressionsgerade ist $y = -0,3149\ x - 10,4592$.
Es läßt sich also formulieren, daß mit steigenden SR_{aw} - Werten die Wahrscheinlichkeit eines auffälligen negativen Phasenwinkels größer wird.
Da SR_{aw} sich bei den Meßwertegruppen als sensibler Parameter für die bronchialen Belastungstests bei Kindern gezeigt hat, muß dem Phasenwinkel ebenfalls eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Der Zusammenhang ist allerdings nicht so groß, daß sich eine mathematische Entsprechung bestimmter SR_{aw} - Werte und bestimmter Phasenwinkelwerte formulieren läßt. Er tritt auch nur bei erhöhten Werten der SR_{aw} auf.



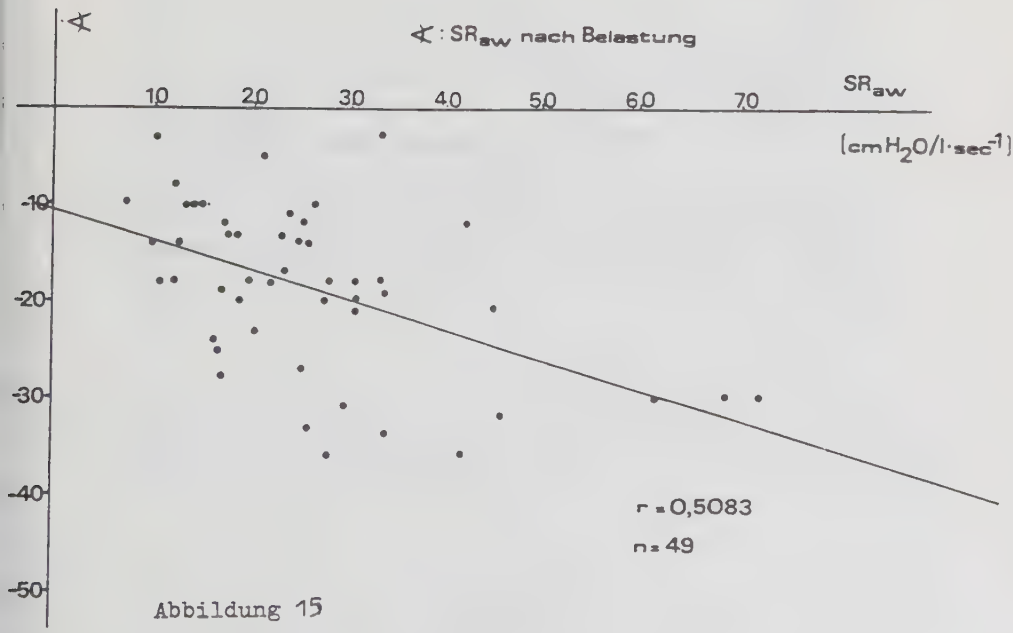


Abbildung 15

3.3 Die Untergruppen

Die Auswertung der plethysmographischen Messung hat die Annahme bestärkt, daß die hyperergische bronchiale Reaktion bei Kindern in verschiedenen Formen ablaufen kann. Die Einen reagieren vornehmlich mit dem R_{aw} , die Anderen eher mit dem thorakalen Gasvolumen. Daneben gibt es eine große Gruppe, die mit beiden Parametern auffällig ist.

Nach diesen Gesichtspunkten haben wir 3 Untergruppen gebildet:

Gruppe 1 wird von Kindern gebildet, die nur mit dem R_{aw} reagieren. Kind Nr. 15, das mit der R_{aw}-Erhöhung im Grenzbereich liegt (ΔR_{aw} = 49%), ist in diese Gruppe aufgenommen. Insgesamt sind 17 Kinder in der Gruppe.

Gruppe 2 zeigt ein anderes Reaktionsmuster. Sowohl mit dem R_{aw} als auch mit dem TGV überschreiten die Kinder den Schwellenwert bei Belastung. In dieser Gruppe sind 18 Kinder.

Gruppe 3 ist mit 8 Kindern sehr klein. In ihr sind nur Kinder, die nur mit dem TGV reagieren.

Die restlichen 6 Kinder von n=49 waren keiner Gruppe zuzuordnen.

Der Vergleich der plethysmographischen Meßergebnisse in den Untergruppen mit den oszillatorischen Werten soll Aufschluß geben, inwieweit die unterschiedlichen Reaktionsmuster der Kinder in der Oszillationsmethode repräsentiert werden.

3.3.1 Die Meßwerte der Gruppe 1

Die Werte der Gruppe 1 sind in Tabelle 11 dargestellt. Diese Gruppe liegt mit den TGV - Werten vor Belastung etwas höher mit $\bar{x}_{(n=17)}$= 2061 ml als das Gesamtkollektiv mit $\bar{x}_{(n=49)}$= 1959 ml. Die Streuung bewegt sich im gleichen Rahmen wie das Kollektiv. Nach Belastung steigt der mittlere TGV - Wert allerdings nur gering an mit $\bar{x}$ = 2442 ml und liegt damit um nahezu 300 ml unter dem Kollektiv mit $\bar{x}$ = 2711 ml. Die mittlere Differenz der Werte nach Belastung zu den Leerwerten ist 18,5%. TGV zeigt also in der Gruppe 1 eine unbedeutende Steigerung. Dagegen verändert sich der Atemwegswiderstand auffällig. Vor Belastung liegt der mittlere Wert bei $\bar{x}$ = 4,83 cm $H_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ und damit um 0,7 Einheiten niedriger als im Kollektiv. Die Streuung ist mit $SD_{(n=17)}$=1,72 auch etwas geringer als $SD_{(n=49)}$=1,97 bei den gesamten Kindern. Nach Belastung steigt der R_{aw}-Wert auf $\bar{x}$ = 9,19 cm $H_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$, was einer Abweichung um 90% entspricht. Die Streuung liegt jetzt mit $SD_{(n=17)}$=2,34 bedeutend niedriger als im Kollektiv mit $SD_{(n=49)}$=3,23. Die mittlere Abweichung beträgt dort 80%. Die Gruppe 1 reagiert also eindeutiger mit dem R_{aw} als das Kollektiv. Der höchste Wert nach Belastung ist mit 13,05 cm $H_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ aber weit niedriger als im Kollektiv mit 21,30 cm $H_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$.

Der spezifische Atemwegswiderstand liegt vor Belastung mit $\bar{x}$ = 9,56 cm $H_2O \cdot sec$ um ungefähr eine Einheit niedriger als im Kollektiv. Die Streuung in der Gruppe ist mit $SD_{(n=17)}$= 3,68 auch geringer als $SD_{(n=49)}$=5,06. Auch nach Belastung ist die Streuung in der Gruppe 1 mit SD =6,60 gegenüber $SD_{(n=49)}$=14,14 wesentlich geringer. Der mittlere Wert liegt mit $\bar{x}$ = 21,68 cm $H_2O \cdot sec$ um 4 Einheiten niedriger als im Versuchskollektiv. Da der SR_{aw} eine volumenbezogene Rechengröße darstellt, ist der niedrigere Wert nach

Gruppe 1

Raw positiv – TGV negativ

Nr.	TGV		Raw		SRaw		Rez		φ	
	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
4	2,298	2,754	4,75	8,70	10,93	23,98	6,75	11,86	- 9	-12
5	2,195	2,720	3,79	10,63	8,33	28,93	4,47	10,97	- 1	-31
12	1,987	2,501	4,23	11,02	8,40	27,56	6,69	12,95	- 7	-20
15	2,308	2,692	8,22	12,25	18,97	32,97	10,00	14,67	- 6	- 3
16	1,564	1,552	5,67	8,95	8,87	13,89	7,57	9,27	- 7	-10
24	4,355	4,935	3,64	6,18	15,85	30,50	5,78	6,90	-13	-21
26	2,294	2,774	5,05	8,18	11,59	22,69	6,42	6,57	± 0	-13
29	1,553	1,703	3,32	7,44	5,16	12,68	5,44	6,63	- 8	-14
32	1,964	2,461	6,26	10,36	12,30	25,30	7,26	12,43	- 9	-14
33	0,970	1,212	8,11	13,05	7,87	15,82	9,83	12,44	-17	-24
34	2,079	2,579	3,97	9,20	8,25	23,73	5,60	9,54	-13	-11
36	1,540	1,956	3,43	5,17	5,28	10,11	5,00	8,83	- 6	-14
37	2,162	2,577	4,29	10,29	9,27	26,51	4,13	9,46	+ 5	-10
38	1,556	1,522	6,93	12,70	10,78	19,34	7,18	10,00	-11	-23
40	1,754	2,149	5,05	7,64	8,86	16,42	6,44	9,60	- 6	-28
46	1,956	2,304	2,78	8,44	5,44	19,45	6,45	10,00	- 8	-18
48	2,505	3,122	2,54	5,98	6,37	18,67	4,82	7,35	± 0	-13
	x=2,061	x=2,442	x=4,83	x=9,19	x=9,56	x=21,68	x=6,46	x=9,97	x=-6,8	x=-16,4
	s=0,707	s=0,833	s=1,72	s=2,34	s=3,68	s=6,60	S=1,64	s=2,36	s=4,7	s=7,2

TGV in Liter Raw , SRaw , Rez in $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot s$ φ in Grad

Korrelationen von Rez:

Rez vor : TGV vor r = -0,2838
Rez nach : TGV nach r = -0,2458

Rez vor : Raw vor r = 0,8615
Rez nach : Raw nach r = 0,7312

Rez vor : SRaw vor r = 0,4772
Rez nach : SRaw nach r = 0,4061

Korrelationen von φ :

φ vor : TGV vor r = 0,0228
φ nach : TGV nach r = 0,0462

φ vor : Raw vor r = -0,3532
φ nach : Raw nach r = -0,1038

φ vor : SRaw vor r = -0,0997
φ nach : SRaw nach r = 0,0825

Belastung in der Gruppe damit zu erkären,daß hier keine bedeutende TGV - Änderung stattgefunden hat. Insgesamt zeigt die Gruppe 1 aber eine deutliche Reaktion mit der SR_{aw} bei einer durchschnittlichen Steigerung um 127%. Bei den oszillatorischen Meßwerten liegt der R_{ez} sowohl vor als auch nach Belastung niedriger als im Gesamtkollektiv: vor $\bar{x}_{(n=17)}$= 6,46 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ gegenüber dem $\bar{x}_{(n=49)}$= 7,14 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$; nach $\bar{x}$= 9,97 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ in der Gruppe gegenüber $\bar{x}_{(n=49)}$= 11,06 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$. Die Streung ist auch geringer: vor Belastung $SD_{(n=17)}$= 1,64 bei $SD_{(n=49)}$=2,08 ; nach Belastung $SD_{(n=17)}$=2,36 gegenüber $SD_{(n=49)}$=3,50 . Damit zeigt sich bei R_{ez} in der Gruppe eine gleichlaufende Tendenz mit den R_{aw}-Werten sowohl in der Höhe als auch in der Entwicklung während des Tests. Die durchschnittliche Steigerung mit $\bar{x}$ = 54% überschreitet deutlich den Schwellenwert von 25%, liegt aber doch niedriger als die Steigerung der R_{aw}. Der Phasenwinkel φ liegt sowohl vor Belastung als auch nach Belastung niedriger als im Versuchskollektiv : vor $\bar{x}_{(n=17)}$= -6,8 gegenüber $\bar{x}_{(n=49)}$=-7,4 ; nach Belastung $\bar{x}_{(n=17)}$=-16,4 gegenüber $\bar{x}_{(n=49)}$=-18,6. Auch ist die Streuung etwas geringer als im Kollektiv : vor Belastung $SD_{(n=17)}$= 4,7 zu $SD_{(n=49)}$=6,1 ; nach Belastung $SD_{(n=17)}$= 7,2 zu $SD_{(n=49)}$= 8,7 . Insgesamt liegen also die Meßwerte nach Belastung niedriger als im Kollektiv.

3.3.2 Die Meßwerte der Gruppe 2

Die Gruppe 2 (Tabelle 12) liegt mit den Meßwerten für das TGV sowohl vor Belastung wie nach Belastung höher als das Versuchskollektiv: vor Belastung $\bar{x}_{(n=18)}$=2048ml gegenüber $\bar{x}_{(n=49)}$=1959ml ; nach Belastung liegt der mittlere Wert der Gruppe mit $\bar{x}$ =3099ml umfast 400ml über über dem Kollektiv mit $\bar{x}$ =2711ml. Die Differenz am Ende der Testung ist dabei sehr deutlich. Die Streuung sowohl vor wie nach Belastung liegt im Rahmen des Kollektivs.

Bei dem R_{aw} zeigt diese Gruppe vor Belastung keine Differenz zum Versuchskollektiv : $\bar{x}_{(n=18)}$= 5,52 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ gegenüber $\bar{x}_{(n=49)}$= 5,53 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$. Dagegen ist nach Histamintestung ein deutlich höherer Mittelwert in der Gruppe 2 zu finden : $\bar{x}_{(n=18)}$= 10,92 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ gegenüber $\bar{x}_{(n=49)}$= 9,43 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$. Die Streuung ist in dieser Gruppe sowohl bei der Leerwertmessung wie nach Belastung im gleichen Rahmen wie im Versuchskollektiv.

Neben dem deutlich erhöhten TGV ist also auch der R_{aw} erhöht gegenüber dem Kollektiv, was sich in dem SR_{aw} ausdrücken muß. Bei der Leerwertmessung ist der Durchschnittswert mit $\bar{x}_{(n=18)}$= 11,09 $cmH_2O \cdot sec$ zu $\bar{x}_{(n=49)}$=10,51 $cmH_2O \cdot sec$ nur unbedeutend erhöht. Nach Belastung liegt die Gruppe2 mit $\bar{x}_{(n=18)}$= 34,80 $cmH_2O \cdot sec$ wesentlich über dem Kollektiv mit $\bar{x}_{(n=49)}$= 25,70 $cmH_2O \cdot sec$. Auch die Streuung weicht ab: vor Belastung $SD_{(n=18)}$= 4,75 zu $SD_{(n=49)}$= 5,06 ; nach Belastung $SD_{(n=18)}$= 17,33 zu $SD_{(n=49)}$= 14,14.

Demgegenüber zeigt der Realteil der oszillatorischen Impedanz keine besondere Veränderung gegenüber dem Versuchskollektiv : Leerwertmessung $\bar{x}_{(n=18)}$= 7,84 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ zu $\bar{x}_{(n=49)}$= 7,14 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$; nach Belastung $\bar{x}_{(n=18)}$= 11,97 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ zu $\bar{x}_{(n=49)}$= 11,06 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$. Die Streuung liegt in der Gruppe 2 im Rahmen des Versuchs-

Gruppe 2

Raw positiv – TGV positiv

n = 18

Nr.	TGV		Raw		SRaw		Rez		φ	
	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
1	1,674	2,454	4,72	8,59	7,90	21,08	8,92	14,09	+ 4	- 5
2	2,410	3,380	7,26	11,73	17,51	39,64	14,32	17,50	-15	-36
3	2,834	3,842	3,95	6,96	11,20	26,74	7,67	6,61	+ 3	-18
6	1,588	2,479	4,09	8,82	6,49	21,86	7,67	13,65	-12	-18
7	1,586	2,686	7,69	12,49	12,19	33,84	8,82	10,30	- 7	-18
8	1,169	1,563	6,44	9,82	7,53	15,36	8,89	14,70	0	-10
9	1,659	2,612	4,20	6,45	6,97	16,86	5,62	9,98	+ 2	-12
10	2,644	3,724	2,88	11,45	7,61	42,63	5,71	14,59	- 5	-12
17	2,539	4,970	4,77	14,47	12,11	71,91	6,50	9,53	- 9	-30
19	2,743	3,704	5,54	9,01	15,22	33,38	7,00	9,25	-21	-34
21	1,614	2,772	5,93	9,22	9,58	25,55	6,50	14,36	-17	-33
23	1,698	2,664	6,08	11,52	10,33	30,71	5,89	7,00	-18	-20
27	1,753	2,774	8,51	21,30	14,91	61,89	10,00	15,00	-13	-30
39	1,046	1,517	5,86	10,72	6,13	16,27	10,00	14,62	- 3	-19
41	2,614	3,817	4,96	11,14	12,98	42,52	6,22	9,33	-15	-32
42	1,880	2,676	3,89	8,71	7,33	23,32	8,51	11,08	- 1	-17
43	2,812	4,033	3,19	8,47	8,99	34,16	3,00	8,92	0	-19
44	2,613	4,117	9,46	15,73	24,71	68,67	9,89	15,00	-11	-30
	x=2,048	x=3,099	x=5,52	x=10,92	x=11,09	x=34,80	x=7,84	x=11,97	x=-7,7	x=-21,8
	s=0,592	s=0,906	s=1,82	s= 3,52	s= 4,75	s=17,33	s=2,46	s= 3,19	s= 7,9	s= 9,3

TGV in Liter Raw , SRaw , Rez in $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot s$ φ in Grad

Korrelationen von Rez :

Rez vor	:	TGV vor	r= -0,2513
Rez nach	:	TGV nach	r= -0,3452
Rez vor	:	Raw vor	r= 0,6334
Rez nach	:	Raw nach	r= 0,3428
Rez vor	:	SRaw vor	r= 0,4106
Rez nach	:	SRaw nach	r= 0,0667

Korrelationen von φ :

φ vor	:	TGV vor	r=-0,1562
φ nach	:	TGV nach	r=-0,4826
φ vor	:	Raw vor	r=-0,4261
φ nach	:	Raw nach	r=-0,4464
φ vor	:	SRaw vor	r=-0,2420
φ nach	:	SRaw nach	r=-0,5781

Tabelle 12

kollektivs. Insgesamt zeigt sich eine Diskrepanz zwischen der Entwicklung der plethysmographischen Werte in Gruppe2 und der Entwicklung des R_{ez}, der nur gering vom Kollektiv abweicht.

Beim Phasenwinkel zeigt sich vor Belastung mit $\bar{x}_{(n=18)}=-7,7^{\circ}$ kein großer Unterschied zu $\bar{x}_{(n=49)}=-7,4^{\circ}$. Die Streuung der Meßwerte liegt mit $SD_{(n=18)}=7,9$ etwas höher gegenüber $SD_{(n=49)}=6,1$. Nach Belastung allerdings ist der Phasenwinkel im Mittel mit $\bar{x}_{(n=18)}=-21,8^{\circ}$ deutlich negativer als im Kollektiv $\bar{x}_{(n=49)}=-18,6^{\circ}$. Die Streuung der Meßwerte in Gruppe 2 nach Testung liegt im Rahmen des Kollektivs. Die Entwicklung der Phasenwinkelwerte im Testverlauf läßt formulieren, daß für Gruppe 2 φ ein Indikator der Bronchialobstruktion sein kann.

3.3.3 Die Meßwerte der Gruppe 3

Die Ergebnisse der Gruppe 3 haben nur eine bedingte Aussagekraft wegen des kleinen Umfangs der Gruppe von nur 8 Probanden. Sie sind in Tabelle 13 dargestellt.
Das TGV ist in der Gruppe bei Leerwertmessung deutlich geringer als im Versuchskollektiv : $\bar{x}_{(n=8)}$= 1638 ml zu $\bar{x}_{(n=49)}$= 1959 ml. Nach Belastung liegt der Mittelwert der Gruppe leicht über dem des Kollektivs : $\bar{x}_{(n=8)}$= 2819 ml gegenüber $\bar{x}_{(n=49)}$= 2711 ml. Die Streuung liegt im Rahmen des Kollektivs. Im Durchschnitt hat also eine deutliche Reaktion mit dem TGV stattgefunden mit einer Abweichung um $\bar{x}$ = 72%.
Der Atemwegswiderstand (R_{aw}) zeigt in der Gruppe 3 bei Leerwertmessung keine besondere Differenz zum Kollektiv : $\bar{x}_{(n=8)}$= 5,89 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ zu $\bar{x}_{(n=49)}$= 5,53 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$. Nach Belastung liegt der R_{aw} deutlich unter dem Wert des Kollektivs mit $\bar{x}_{(n=8)}$= 6,80 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ gegenüber $\bar{x}_{(n=49)}$= 9,43 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$. Die Streuung der Meßwerte liegt vor Belastung im Rahmen des Kollektivs. Nach Belastung ist die Streuung $SD_{(n=8)}$=2,58 gegenüber der $SD_{(n=49)}$=3,23 , was durch den geringeren Umfang an Werten erkärt werden kann.
Der SR_{aw} liegt vor Belastung wie danach in Gruppe 3 niedriger als im Kollektiv, was nach den Werten von R_{aw} und TGV schon zu erwarten war : bei Leerwertmessung ist $\bar{x}_{(n=8)}$= 9,46 $cmH_2O \cdot sec$ zu $\bar{x}_{(n=49)}$= 10,51 $cmH_2O \cdot sec$; nach Belastung ist $\bar{x}_{(n=8)}$= 18,33 $cmH_2O \cdot sec$ gegenüber $\bar{x}_{(n=49)}$=25,70 $cmH_2O \cdot sec$. Die Streuung liegt vor Belastung im Rahmen des Versuchskollektivs. Nach Belastung ist sie wesentlich geringer mit $SD_{(n=8)}$ = 7,72 gegenüber $SD_{(n=49)}$ = 14,14, was sich mit den niedrigeren Werten in Gruppe 3 und dem geringen Umfang erklären läßt.
Der R_{ez} liegt hier wieder im Bereich der Werte des Kollek-

Gruppe 3

Raw negativ – TGV positiv n=8

Nr.	TGV		Raw		SRaw		Rez		φ	
	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
13	1,219	1,792	4,36	5,77	5,32	10,34	7,66	10,00	0	- 3
14	2,241	3,057	2,95	3,53	6,61	10,79	5,00	6,78	- 5	-18
20	1,095	2,699	8,53	11,38	9,34	30,71	8,82	12,70	- 5	-18
22	1,040	1,569	6,61	8,07	6,87	12,67	5,50	9,45	- 5	-10
28	1,260	2,020	5,46	8,15	6,89	16,46	6,23	11,79	-10	-25
31	1,754	3,553	3,93	5,16	6,90	18,36	7,00	9,83	- 2	-13
35	2,759	4,308	7,10	4,31	19,59	18,59	7,66	10,00	- 5	-20
47	1,737	3,555	8,14	8,08	14,14	28,73	9,06	16,11	- 1	-36
	x=1,638	x=2,819	x=5,89	x=6,80	x=9,46	x=18,33	x=7,11	x=10,83	x=-4,1	x=-17,9
	s=0,611	s=0,927	s=2,04	s=2,58	s=4,92	s= 7,72	s=1,47	s= 2,75	s= 3,1	s= 9,9

TGV in Liter Raw , SRaw , Rez in $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot s$ φ in Grad

Korrelationen von Rez :

Rez vor : TGV vor r= -0,0533
Rez nach : TGV nach r= -0,1138

Rez vor : Raw vor r= 0,6847
Rez nach : Raw nach r= 0,6569

Rez vor : SRaw vor r= 0,4917
Rez nach : SRaw nach r= 0,8134

Korrelationen von φ :

φ vor : TGV vor r= 0,0399
φ nach : TGV nach r= -0,4784

φ vor : Raw vor r= -0,0523
φ nach : Raw nach r= -0,2283

φ vor : Sraw vor r= 0,0296
φ nach : SRaw nach r=-0,6321

Tabelle 13

tivs : bei Leerwertmessung $\bar{x}_{(n=8)}$= 7,11 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ zu $\bar{x}_{(n=49)}$= 7,14 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$; nach Belastung ist $\bar{x}_{(n=8)}$= 10,83 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$ zu $\bar{x}_{(n=49)}$=11,06$cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$. Die Streuung der Meßwerte ist vor wie nach Belastung geringer als im Kollektiv : vor Belastung $SD_{(n=8)}$= 1,47 zu $SD_{(n=49)}$= 2,08 ; nach Belastung $SD_{(n=8)}$= 2,75 gegenüber $SD_{(n=49)}$= 3,50. Auch hier muß der geringe Umfang der Gruppe 3 berücksichtigt werden.

Der Phasenwinkel liegt in Gruppe 3 bei der Leerwertmessung mit $\bar{x}$ =-4,1° gegenüber dem Kollektiv mit $\bar{x}$ =-7,4° niedriger. Nach Belastung steigt er stark an auf $\bar{x}_{(n=8)}$= -17,9° und liegt damit im Bereich des Kollektivs mit $\bar{x}_{(n=49)}$= -18,6°. Dabei ist auffällig, daß die starke Negativierung des Phasenwinkels einhergeht mit einer relativ geringen Steigerung der Resistance.

3.3.4 Die Korrelationen von R_{ez} zu den plethysmographischen Werten in den Untergruppen

In allen 3 Gruppen ist die Beziehung zwischen R_{ez} und TGV sowohl vor Belastung als auch danach unbedeutend gering. Sämtliche Korrelationswerte haben eine negative Tendenz. Wie die Abbildungen 16 und 17 zeigen liegen die einzelnen Werte in einer diffusen, breiten Streuung. Der Eindruck aus der Betrachtung des Gesamtkollektivs, daß sich keine sinnvolle Beziehung zwischen R_{ez} und TGV herstellen läßt, wird in den Untergruppen noch einmal bestätigt.

Bei der Beziehung zwischen R_{ez} und R_{aw} zeigt die Gruppe 1 eine über dem Kollektiv liegende Korrelation vor und nach Belastung. Der Koeffizient vor Belastung ist mit $r = 0{,}8615$ im Bereich der Messung von Berdel et al.(35) mit deren $r = 0{,}84$. Das Gesamtkollektiv weist vor Belastung nur einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0{,}6957$ auf, und nach Belastung $r = 0{,}5588$. In der Gruppe 1 ist er nach Belastung $r = 0{,}7312$. Wie Abbildung 18 zeigt, liegen die Werte vor Belastung dicht um die Regressionsgerade $y = 0{,}8219\ x + 2{,}4947$. Nach Belastung streuen die Werte etwas mehr um die Regressionsgerade $y = 0{,}7379\ x + 3{,}1898$ (Abb. 19).

Die Entwicklung der Beziehung zwischen R_{ez} und R_{aw} in Gruppe 2 ist dagegen sehr different. Vor Belastung ist der Korrelationskoeffizient mit $r = 0{,}6334$ im Bereich des Kollektivs. Nach Belastung verringert er sich wesentlich auf $r = 0{,}3428$, d.h. es besteht keine Korrelation mehr. Die Werte vor Belastung streuen um die Regressionsgerade $y = 0{,}8550\ x + 3{,}1181$. Nach Belastung zeigt sich nur eine diffuse breite Streuung ohne eindeutige Richtung.

Abb. 16 R_{ez} zu TGV vor Belastung
R_{ez} in $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$; TGV in Liter

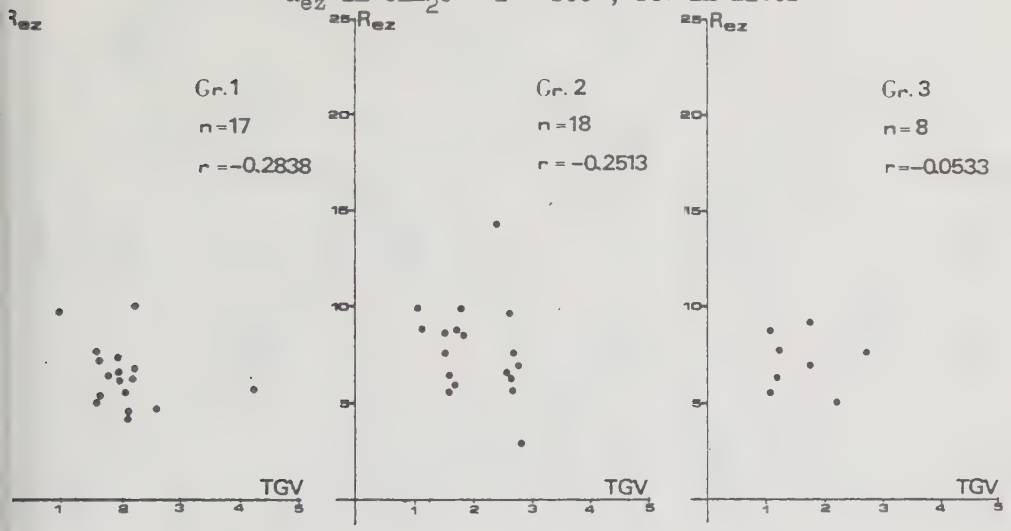


Abb. 17 R_{ez} zu TGV nach Belastung
R_{ez} in $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$; TGV in Liter

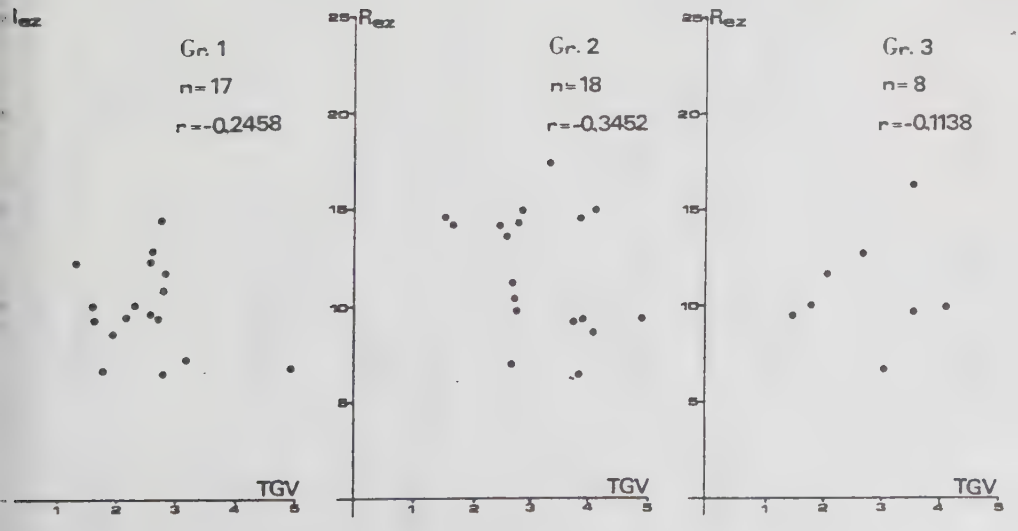
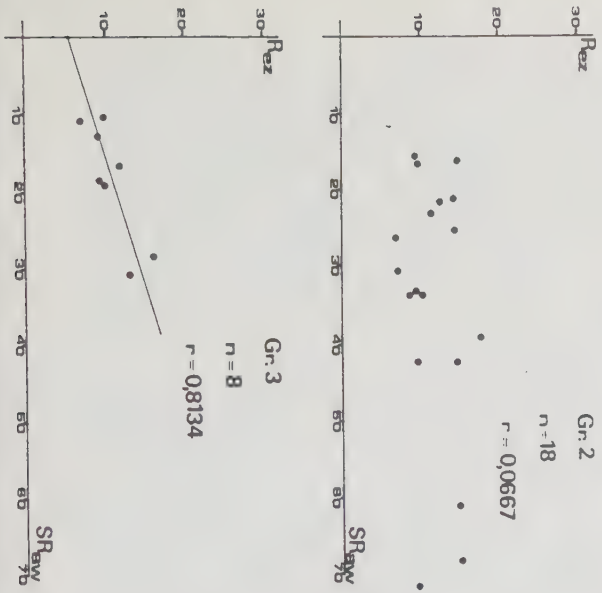


Abb. 18 R_{ez} zu R_{aw} vor Belastung
R_{ez} und R_{aw} in $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$

Abb. 19 R_{ez} zu R_{aw} nach Belastung
R_{ez} und R_{aw} in $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$

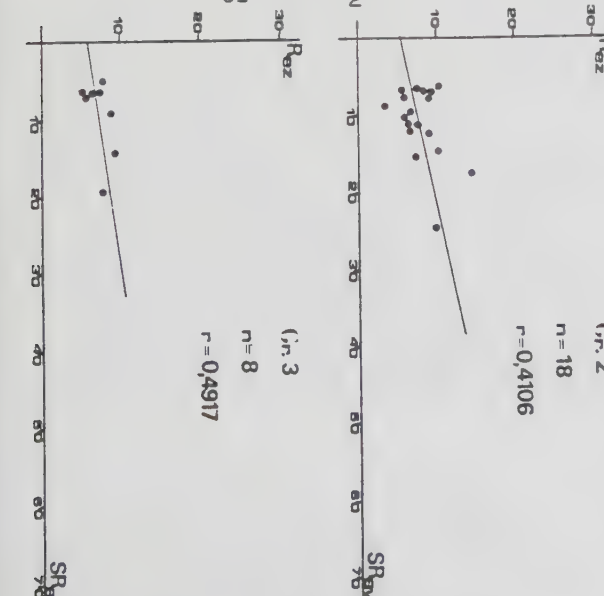
Abb. 20 R_{ez} zu SR_{aw} vor Belastung



R_{ez} in $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$; SR_{aw} in $cmH_2O \cdot sec$

Abb. 21 R_{ez} zu SR_{aw} nach Belastung

R_{ez} in $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$; SR_{aw} in $cmH_2O \cdot sec$



In der unterschiedlichen Entwicklung der Beziehung von R_{ez} und R_{aw} in den beiden Untergruppen könnte die Erklärung liegen für die geringere Verläßlichkeit der oszillatorischen Messung. Wir vermuten, daß die Kinder in beiden Gruppen mit unterschiedlichen Bereichen des Bronchialbaums obstruktiv reagieren, Gruppe 1 wesentlich in den zentralen Atemwegen hingegen Gruppe 2 mehr in der Peripherie. Dafür läßt sich die unterschiedliche Entwicklung der Meßwerte im Plethysmographen in den beiden Gruppen anführen. Dann läßt sich sagen, daß die Messung des oszillatorischen Widerstands R_{ez} nur dann eine verläßliche Repräsentation des Atemwegswiderstands R_{aw} erlaubt, wenn nur die Bereiche des Bronchialsystems von der obstruktiven Reaktion betroffen sind, die keine wesentliche Erhöhung des thorakalen Gasvolumens bewirken. Diese Bedingung kann natürlich kein Untersuchungskollektiv einer Kinderklinik erfüllen.

Die Gruppe 3 ist in ihrem Umfang zu klein, um eine sinnvolle Beurteilung der Beziehung R_{ez} zu R_{aw} zu erlauben. Der Korrelationskoeffizient vor Belastung liegt mit $r = 0{,}6847$ im Rahmen des Gesamtkollektivs. Nach Belastung vergrößert sich der Koeffizient auf $r = 0{,}8134$. Dies kann bedingt sein durch die im Vergleich zum Kollektiv niedrigen R_{ez}- und R_{aw}-Werte. Berdel et al. (35) begrenzen die gute Beziehung zwischen R_{ez} und R_{aw} auf Meßbereiche zwischen 2 - 10 $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$. Dieser Bereich wird im Mittel in Gruppe 3 nach Belastung nur gering überschritten. Bei der geringen Anzahl der Meßwerte in Gruppe 3 könnte das aber auch ein Zufallsprodukt sein.

Die Beziehung zwischen R_{ez} und SR_{aw} ist in den Untergruppen etwas besser als im Gesamtkollektiv vor Belastung. Nach Belastung zeigt sich eine der Beziehung R_{ez} zu R_{aw} gleichlaufende Tendenz der Abnahme des Korrelationskoef-

fizienten, wie Abbildung 20 und 21 darstellen. Auch hier muß wieder für die relativ gute Beziehung zwischen R_{ez} und SR_{aw} in Gruppe 3 nach Belastung der Zufall bedacht werden bei dem relativ kleinen Umfang der Gruppe. Eine bedeutungsvolle Beziehung zwischen R_{ez} und SR_{aw} läßt sich insgesamt nicht beschreiben für unsere Untersuchung.

3.3.5 Die Korrelationen des Phasenwinkels φ zu den plethysmographischen Werten

In der Gruppe 1 läßt sich sowohl vor wie nach Belastung keine Beziehung zwischen φ und TGV beschreiben. Die Abbildungen 22 und 23 zeigen für die Meßwerte nur eine diffuse, breite Streuung. Dagegen ist in Gruppe 2 und Gruppe 3 eine deutliche Korrelation nach Belastung vorhanden. Bei beiden Gruppen zeigt sich in der Leerwertmessung keine Beziehung : Gruppe 2 r= -0,1562; Gruppe 3 r= 0,0399. Nach Belastung ist in Gruppe 2 der Korrelationskoeffizient r= -0,4826 und die Werte streuen um die Regressionsgerade y = -4,9709x - 6,4280. Für Gruppe 3 ist der Koeffizient r= -0,4784 und die Regressionsgerade y= -0,4680x -1,9826. Auch hier streuen die Meßwerte breit und es gilt für die letzte Gruppe weiterhin die Einschränkung, daß der geringe Umfang an Einzelwerten dem Zufall große Chancen gibt. Die schon in der Gesamtheit des Kollektivs gefundene Beziehung zwischen φ und TGV findet hier ihre Bestätigung, besonders auch durch die Beziehungslosigkeit in der Gruppe 1, deren Probanden nur mit dem Atemwegswiderstand reagieren. Trotzdem sind die Korrelationskoeffizienten in Gruppe 2 und 3 noch zu gering um φ zu einer verläßlichen Meßgröße in Beziehung zum Plethysmographen zu machen.

Die Beziehung zwischen φ und R_{aw} ist von Bölcskei (29) beschrieben und fand in dem Kollektiv als allgemeine Tendenz ihre Bestätigung. In Gruppe 1 ist der Korrelationskoeffizient sowohl vor als auch nach Belastung recht gut : vor Belastung r= -0,4261 ; nach Belastung r= -0,4464. Die Abbildung 24 stellt die Streuung der Leerwerte um die Regressionsgerade y= -1,1259x -1,3909 dar. Nach Belastung streuen die Meßwerte um die Re-

Abb. 22 φ zu TGV vor Belastung
φ in Grad ; TGV in Liter

Abb. 23 φ zu TGV nach Belastung
φ in Grad ; TGV in Liter

Abb. 24 φ zu R_{aw} vor Belastung
φ in Grad ; R_{aw} in $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$

Abb. 25 φ zu R_{aw} nach Belastung
φ in Grad ; R_{aw} in $cmH_2O \cdot l^{-1} \cdot sec$

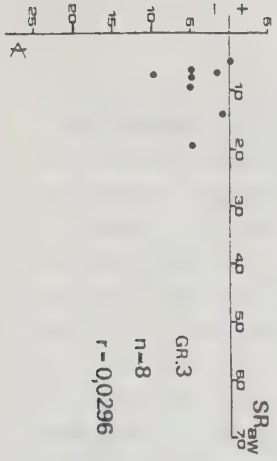


Abb. 26 φ zu SR_{aw} vor Belastung
φ in Grad ; SR_{aw} in cmH_2O • sec

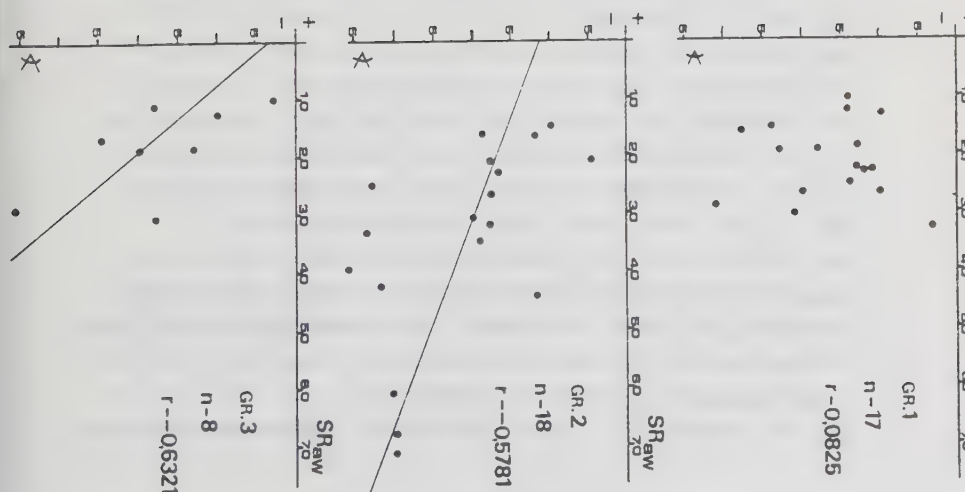


Abb. 27 φ zu SR_{aw} nach Belastung
φ in Grad ; SR_{aw} in cmH_2O • sec

gressionsgerade y= -0,3212x -13,4609 (Abb.25). Die Koeffizienten liegen aber zu niedrig um eine genaue mathematische Zuordnung bestimmter Phasenwinkelwerte zu bestimmten R_{aw}-Werten zu ermöglichen. In den beiden anderen Gruppen ist keine sinnvolle Beziehung zwischen φ und R_{aw} zu beschreiben. Interessant ist (Abb. 24 / 25) daß in Gruppe 2 die Korrelation nach Belastung abnimmt. In dieser Gruppe ist nach Belastung die Korrelation von φ zu TGV recht gut.

Die Beziehung zwischen φ und SR_{aw} war schon im Kollektiv nach Histaminbelastung deutlich. Für Gruppe 1 gilt dies aber nicht wie Abbildung 26 und 27 zeigen. Die Korrelation ist sowohl vor als auch nach Belastung geringer als o,1. Dagegen ist in Gruppe 2 und Gruppe 3 eine deutliche Entwicklung zu beschreiben. Gruppe 2 hat bei Leerwertmessung einen Korrelationskoeffizienten r= -0,2420. Nach Belastung ist der Koeffizient in Gruppe2 r=-0,5781. Die Werte streuen um die Regressionsgerade y= -0,6113x -11,003 (Abb.27). Für die Gruppe 3 ist die Korrelation vor Belastung r= 0,0296 und nach Belastung r=-0,6321. Die Werte nach Belastung streuen um die Regressionsgerade y = -1,8130x -2,9718 (Abb.27). Für Gruppe 3 muß allerdings wieder die Möglichkeit des Zufalls bedacht werden. Zwar sind die Korrelationen in Gruppe 2 und 3 eindeutig, doch bleibt bei den Koeffizienten um 0,6 die Frage wieweit φ die plethysmographisch bestimmte SR_{aw} verläßlich ersetzen kann. Die Befundung des Kollektivs zeigt hier große Unsicherheiten auf.

Die Beziehungen des Phasenwinkels zu den plethysmographischen Werten lassen insgesamt keine eindeutige Zuordnung zu einer bestimmten plethysmographischen Funktionsgröße zu. Die unterschiedlichen Korrelationen der 3 Untergruppen zeigen dies deutlich.

Die von Berdel et al.(35) behauptete Bedeutungslosigkeit

der Phasenwinkelmessung bei der Obstruktionsdiagnostik kann unsere Untersuchung nicht stützen.

4 Zusammenfassung

Bronchiale Histaminbelastungstests wurden bei 49 Kindern mit Verdacht auf exogen-allergisches Asthma durchgeführt. Die atemmechanischen Veränderungen wurden mit der Oszillationsmethode (FD 5) und mit dem Ganzkörperplethysmographen gemessen. Bei 46 Kindern zeigte sich eine positive Reaktion. Beim Vergleich der Meßmethoden ergaben sich folgende Resultate:

Es fand sich eine Korrelation (r= 0,6957) zwischen dem Realteil der oszillatorischen Impedanz (R_{ez}) und dem Atemwegswiderstand (R_{aw}) vor Belastung, wie schon von anderen Autoren mitgeteilt. Nach Belastung sank der Korrelationskoeffizient deutlich (r= 0,5588).

Zwischen dem R_{ez} und dem thorakalen Gasvolumen ließ sich weder vor noch nach Belastung eine Korrelation finden.

Auch zwischen R_{ez} und dem spezifischen Atemwegswiderstand (SR_{aw}) ließ sich keine signifikante Beziehung finden.

Der Phasenwinkel (φ) zeigte vor wie nach Belastung keine Korrelation mit dem R_{aw} und dem thorakalen Gasvolumen. Zu dem spezifischen Atemwegswiderstand bestand nach Belastung eine Beziehung (r= 0,5083), die vorher nicht bestanden hatte.

Die Ergebnisse wurden dann noch einmal nach Untergruppen unterteilt ausgewertet. Die Gruppen wurden nach den plethysmographisch gefundenen Reaktionstypen gebildet. Dabei zeigte sich, daß die Beziehung zwischen R_{ez} und R_{aw} nur bei den Kindern, die vornehmlich mit einer R_{aw}-Erhöhung im Test reagierten, vor wie nach Belastung gut war. Bei den Kindern, die auch mit einer Erhöhung des thorakalen Gasvolumens reagierten, war nach Belastung keine Korrelation mehr vorhanden zwischen R_{ez} und R_{aw}.

Bei letzterer Gruppe zeigte sich allerdings eine Korrelation zwischen φ und SR_{aw} nach Belastung, die bei der ersten Gruppe nicht vorhanden war.

Die Ergebnisse des Kollektivs führten zu dem Schluß, daß bei bronchialen Histaminbelastungstests bei Kindern die alleinige Bestimmung der oszillatorischen Impedanz die plethysmographische Messung nicht ersetzen kann.
Die Auswertung der Untergruppen ließ erkennen, daß die mäßige Übereinstimmung weniger durch Meßungenauigkeiten hervorgerufen wurde. Vielmehr zeigten die Probanden Reaktionen in verschiedenen Meßbereichen des Bronchialbaums, die von beiden Meßverfahren unterschiedlich erfaßt wurden.
Die Beziehung des Phasenwinkels (φ) zum SR_{aw} im Kollektiv ließ sich gerade in der Untergruppe nachweisen, in der keine Beziehung zwischen R_{ez} und R_{aw} nach Belastung bestand. Daraus ergab sich, Daß um ausreichende Ergebnisse bei Kindern erzielen zu können, der Phasenwinkel immer mitbestimmt werden muß.
Beim Vergleich der Befundung mit den beiden Meßmethoden lieferte die Oszillationsmethode 3 falsch positive und 3 falsch negative Befunde, also insgesamt 12% falsche Befunde bei 49 durchgeführten Tests. Damit wird die Ersetzbarkeit der plethysmographischen Messung durch die Oszillationsmethode bei bronchialer Allergentestung von Kindern in Frage gestellt.

Literaturliste

1 Dubois,A.B., Lewis,D.H., Burgess,B.F.Jr.:
" Oscillation mechanics of lungs and chest in man"
J. Appl. Physiol. 8 , S. 587 - 594 (1956)

2 Goldmann,M., Knudson,R.J., Mead,J., Peterson,N.,
Schwaber,J.R., Wohl,M.E. :
"A simplified measurement of respiratory resistance by forced oscillation"
J. Appl. Physiol. 28 , S. 113 -116 (1970)

3 Landser,F.J., Nagels,J., Demedts,M., Billict,L.,
van de Woestijne,K.P. :
"A new method to determine frequency characteristics of the respiratory system"
J. Appl. Physiol. 41 , S. 101 - 106 (1976)

4 Korn,V., Franetzki,M., Prestele,K. :
"A simplified appraoch to the measurement of respiratory impedance"
Biomed. engeneering and data processing in pulmonology
Int. Titisee Conf. Oct. 1978
Progr. Resp. Res. 11 , S. 144 -161 (1979)

5 Berdel,D., Magnussen, H., Böckler,M. :
"Sollwerte für den oszillatorischen Atemwiderstand im Kindesalter"
Prax. Pneumolog. 33 , S. 35 - 38 (1979)

6 Hofmann,D., Pflug,M., Woenne,R. :
"Oszillatorische Impedanzmessung bei Kindern und ihre Bedeutung für die pneumologische Diagnostik"
Atemwegs- und Lungenkrankheiten 5 , S124 - 128(1979)

7 Tammeling,G.J., Quanjer,Ph.H. :
"Physiologie der Atmung" (1980)

8 Geubelle,F., et al. :
"Central versus peripherial bronchial obstruction"
4th session of the European Pediatric Respiratory Club (EPRC) Nancy 1973

9 Geubelle,F., Hofmann,D. :
"Diagnostische Möglichkeiten beim Asthmasyndrom im Kindesalter"
Monatsschr. für Kinderheilkunde 119 , S.233-241 (1971)

10 Hofmann,D., Woenne,R., Völker,S. :
"Die oszillatorische Impedanz und die Ganzkörperplethysmographie bei experimentellem Bronchospasmus (Histamin-Belastung) im Kindesalter"
Atemwegs- und Lungenkrankheiten 6, S.239-241 (1980)

11 Dubois,A.B., Bothelo,S.Y. :
"A new method for measuring airway resistance in man using a bodyplethysmograph"
J. clin. Invest. 35, S.327 ff (1956)

12 Briscoe,W.A., Dubois,A.B. :
"Relationship between airway resistance, airway conductance and lung volume"
J. clin. Invest. 37 , S.1279 ff (1958)

13 Comroe,J.H., Bothelo,S.Y., Dubois,A.B. :
"Design of a body plethysmograph for studying cardio-pulmonary physiology"
J. Appl. Physiology 14, S. 439 ff (1959)

14 Bargeton,D., Barres,G., Gauge,P. :
"Relation pression-volume dans le plethysmograph a air"
J. Physiol. (Paris) 56 , S.282 (1964)

15 Mead,J. :
"Volume Displacement Bodyplethysmograph for respiratory measurements in human subjects"
J. Appl. Physiol. 19 , S. 813 - 820 (1964)

16 Matthys,H. :
"Lungenfunktionsdiagnostik mittels Ganzkörperplethysmographie"
Stuttgart 1972

17 Von der Hardt , Zywietz :
"Reliability in pneumotachographic measurements"
Resp. 33 , S. 416 - 424 (1976)

18 Von der Hardt , Geubelle :
"Relationship between endoesophageal and intrathoracic pressures in children"
Resp. 30 , S.252ff (1973)

19 Hofmann, D. :
"Lungenfunktionsprüfungen und ihre Anwendung zur Untersuchung atemmechanischer Besonderheiten im Kindesalter"
Habilitationsschrift , Frankfurt a. M. 1981

20 Meier-Sydow,J. , Cegla,U.H. , Dierkesmann,R. :
"Übersicht über einige neuere Begriffe der Atemmechanik"
Prax. Pneumol. 30 , S. 725 - 750 (1976)

21 Bühlmann,A.A. , Rosier,P.H. :
"Klinische Pathophysiologie der Atmung"
Berlin 1970

22 Korn,V. , Franetzki,K. , Prestele,K. , Flügel,E. :
"Ein neues Gerät zur oszillatorischen Bestimmung des Atemwiderstands - Siregnost FD 5 "
Siemens Erlangen

23 Von der Hardt,H., Meiser,W. :
"Allergentestung beim kindlichen Asthma"
Monatsschr. Kinderheilkunde 123, S. 577 - 587 (1975)

24 Von der Hardt,H. :
"Aussagekraft von Lungenfunktionsprüfungen bei Kindern"
Arbeitstagung Päd. Pneumologie , Hannover 1978

25 Linn,M., Glasemann,H. :
"Untersuchungen über Auswirkungen einer körperlichen Belastung auf verschiedenartige Lungenfunktionsparameter bei gesunden Kindern und bei Kindern mit Asthma-Syndrom"
Dissertation , Frankfurt 1978

26 Amrein,R., Keller,R., Joos,H., Herzog,H. :
"Neue Normalwerte für die Lungenfunktionsprüfung mit der Ganzkörperplethysmographie"
Deutsche Med. Wochenschr. 36, S. 1785 ff (1969)

27 Nolte,D. :
"Der bronchiale Strömungswiderstand im Kindesalter"
Klin. Wschr. 46 , S. 783 ff (1968)

28 Thiel,Cl., Fuchs,E. :
"Zur Methodik des inhalativen Allergenprovokationstests mittels oszillatorischer Atemwiderstandsmessung"
Allergologie 1 , S. 102 - 104 (1978)

29 Bölcskei,P. :
"Klinische Erfahrungen mit der oszillatorischen Bestimmung des Atemtraktwiderstandes"
Tagungsbericht Österr. Arb. Gem. f. klinische Atemphysiologie , Graz 1976

30 Korte,W. :
"Zur Bedeutung des Phasenwinkels bei der oszillatorischen Atemwiderstandsmessung"
Prax. Pneumol. 33 , S. 845 - 856 (1979)

31 Haseneiner, I. :
"Messung des Phasenwinkels der respiratorischen Impedanz bei Patienten mit interstitiellen Lungenerkrankungen"
Dissertation , Frankfurt 1981

32 Baur,X., Berstermann,H., Fruhmann,G., Polke,H. , Praml,G. :
"Oszillatorische und ganzkörperplethysmographische Messung des Atemwiderstands bei allergeninduzierten Bronchialobstruktionen"
Atemwegs- und Lungenkrankheiten 4, S.262 - 264 (1978)

33 Helletzgruber,M., Kummer,F., Dorda,W. :
"Vergleichsmessungen von oszillatorisch und plethysmographisch gewonnenen Atemwiderständen"
Prax. Pneumol. 32, S. 578 - 583 (1978)

34 Reichel,G., Hölting,G., Temme,V., Ullrich,D. :
"Funktionelle Diagnostik von obstruktiven Atemwegserkrankungen mit Hilfe der oszillatorischen Atemwegswiderstandsmessung ...."
Prax. Pneumol. 32, S. 388 - 397 (1978)

35 Berdel,D., Magnussen,H., Holle,J.P., Hartmann,V. :
"Vergleich der oszillatorischen Atemwiderstandsmessung mit der Plethysmographie im Kindesalter"
Schweiz. med. Wschr. 109, S. 92 -94 (1979)

36 Polgar,G. , Promadhat, V. :
"Pulmonary function testing in children. Techniques and standards."
W.B.Saunders Comp. Philadelphia, London, Toronto (1971)

Ehrenwörtliche Erklärung :

Ich erkläre ehrenwörtlich, daß ich die dem Fachbereich Humanmedizin Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel :

" Die Oszillatorische Impedanz und die Ganzkörperplethysmographie bei experimentellem Bronchospasmus (Histamin - Belastung) im Kindesalter "

im Zentrum der Kinderheilkunde der Johann Wolfgang Goethe - Universität unter Leitung von Professor Dr. D. Hofmann ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- und ausländischen Medizinischen Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Frankfurt, den 13. 12. 1982

Siegfried Völker

Lebenslauf

Am 6.7.1950 wurde ich, Siegfried Völker, als Sohn des kaufmännischen Angestellten Herbert Völker und seiner Ehefrau Marianne geb. Bornkessel , Bürokaufmann, in Frankfurt am Main geboren.
Von 1957 bis 1961 besuchte ich die Volksschule in Enkheim. Danach wurde ich umgeschult auf das Helmholtz - Gymnasium in Frankfurt. Dort bestand ich 1969 das Abitur.
Im Wintersemester 1969 / 1970 begann ich meine Studien an der Johann Wolfgang Goethe - Universität in Frankfurt. Von 1969 bis 1975 studierte ich Rechtswissenschaften und Gesellschaftswissenschaften. Im Wintersemester 1975/76 erhielt ich die Zulassung zum Studium der Humanmedizin in Frankfurt. Mein Staatsexamen legte ich im April 1982 in Frankfurt ab. Daraufhin erhielt ich die Approbation als Arzt am 12. Mai 1982.
Seit 1.September 1982 arbeite ich als Assistenzarzt im 1. Jahr meiner internistisch - psychosomatischen Ausbildung in der Klinik Hainerberg der LVA Hessen in Königstein / Ts. .
Im September 1978 nahm ich diese Dissertationsarbeit am Zentrum der Kinderheilkunde in Frankfurt an.

Frankfurt, den 13. 12. 1982

Siegfried Völker

KOCZY-DRUCK, Oppenheimer Landstr. 29, 6 Ffm. 70, Tel. 62 21 91